



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA  
LABORATÓRIO DE ANATOMIA VEGETAL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Andresa Hoffmann

**Estudo do desenvolvimento morfoanatômico e histoquímico de  
*Eleocharis elongata* (Cyperaceae) ocorrente em ambiente  
contaminado e não contaminado por Drenagem Ácida de Mina  
(DAM)**

Florianópolis  
2017

Trabalho de Conclusão de Curso

Andresa Hoffmann

**Estudo do desenvolvimento morfoanatômico e histoquímico de  
*Eleocharis elongata* (Cyperaceae) ocorrente em ambiente  
contaminado e não contaminado por Drenagem Ácida de Mina  
(DAM)**

Trabalho de Conclusão de  
Curso submetido ao  
Departamento de Botânica da  
Universidade Federal de  
Santa Catarina como  
requisito parcial para  
obtenção do grau de  
Licenciatura em Ciências  
Biológicas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana  
Claudia Rodrigues

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Hoffmann, Andresa

Estudo do desenvolvimento morfoanatômico e  
histoquímico de *Eleocharis elongata* (Cyperaceae)  
ocorrente em ambiente contaminado e não contaminado  
por Drenagem Ácida de Mina (DAM) / Andresa Hoffmann  
; orientador, Ana Claudia Rodrigues, 2017.  
49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de  
Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas,  
Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Metais pesados. 3.  
Restinga. 4. Rizoma, raiz e escapo. I. Rodrigues,  
Ana Claudia . II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. III.  
Título.

Andresa Hofmann

**Estudo do desenvolvimento morfoanatômico e histoquímico de  
*Eleocharis elongata* (Cyperaceae) ocorrente em ambiente  
contaminado e não contaminado por Drenagem Ácida de Mina  
(DAM)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciatura em Ciências Biológicas, e aprovado em sua forma final pela banca examinadora.

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Claudia Rodrigues– CCB/BOT - UFSC

---

Dr<sup>a</sup> Makeli Garibotti Lusa

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>a</sup> Mayara Krasinski Caddah – CCB/BOT - UFSC



## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a minha família, que é o meu bem mais precioso. Aos meus pais, por terem me oferecido todas as condições de alcançar a Universidade, e em especial as minhas irmãs, Mariana e Maria Eduarda, que foram meus maiores alicerces, me apoiaram, estimularam e acolheram em todas as dificuldades e desafios que encontrei até aqui.

Agradeço a minha orientadora, Doutora Ana Claudia Rodrigues, por toda dedicação e apoio, não só na construção deste trabalho, mas durante toda minha graduação. Agradeço também aos demais professores do curso, que através de experiências e conhecimentos, contribuíram para a minha formação.

Aos meus colegas de curso e de laboratório, meu muito obrigada por toda a ajuda oferecida e pelos momentos de descontração. As minhas grandes amigas, Maria Beatriz, Thaise, Mayara, Thayara e Michelly, por estarem sempre do meu lado, compartilhando das minhas alegrias e tristezas, por todos os conselhos, risadas, companhia nos trajetos de ônibus e cafés no EFI, eu agradeço e sinto que foram essenciais nessa jornada. Também ao meu namorado, Gabriel, agradeço por todo o apoio e por transformar os meus dias, enchendo-os de alegria.

Agradeço ainda a Universidade Federal de Santa Catarina, por toda infraestrutura, conhecimento e experiências oferecidas a mim, além do programa PIBIC/CNPq pela bolsa de iniciação científica, e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização dessa pesquisa.

## Resumo

A exploração do carvão mineral é uma atividade altamente impactante ao meio ambiente, visto que seus processos liberam rejeitos, que depositados no solo geram o efluente ácido Drenagem Ácida de Mina (DAM), que aumenta a disponibilidade de metais pesados no ambiente. *Eleocharis elongata* ocorre naturalmente em ambiente contaminado por DAM em Siderópolis, SC, e em ambiente livre de contaminação, em Florianópolis, SC. O presente trabalho se consistiu no estudo do desenvolvimento anatômico da espécie, além de estudo histoquímico comparativo dos meristemas e órgãos adultos entre os dois ambientes em questão. Para tal, amostras das regiões meristemáticas e adultas dos órgãos rizoma, raiz e escapo foram fixadas e processadas conforme técnicas usuais em anatomia vegetal. Os resultados revelaram um sistema subterrâneo composto por raízes adventícias e por rizoma plagiotrópico e simpodial, com catafilos envolvendo os ápices vegetativos e reprodutivos. Observou-se presença de meristema de espessamento primário no rizoma, com atividade reduzida, formando células de parênquima cortical além de raízes adventícias, ocorrência de meristema intercalar no escapo, e nas raízes presença de caliptrogênio, endoderme meristemática e produção de mucilagem pela epiderme. Todos os órgãos analisados apresentaram aerênquima, típico em espécies de ambientes alagados. Na epiderme do rizoma e escapo, verificou-se presença de fibras epidérmicas e corpos silicosos, sendo estas características similares às outras espécies de Cyperaceae. Os testes histoquímicos revelaram similaridade do rizoma e raiz com relação à presença de proteínas, polissacarídeos, compostos fenólicos e substâncias lipídicas entre os dois ambientes. O escapo adulto, entretanto, mostrou ausência de grãos de amido, de lignina nas fibras do feixe, menor desenvolvimento do parênquima paliçádico nos indivíduos DAM (+), e acredita-se que estas características estão relacionadas à presença dos metais no ambiente. Indivíduos DAM (-) apresentaram paredes celulares mais espessadas em diferentes tecidos como células comuns e fibras da epiderme, fibras do feixe vascular e endoderme do rizoma, relacionadas à resistência aos fortes ventos e estresse salino em ambiente de restinga. Desta forma o presente estudo demonstrou que *Eleocharis elongata* apresenta adaptações anatômicas distintas as quais permitem a espécie sobreviver em ambos os ambientes estudados.

**PALAVRAS-CHAVES:** Metais pesados. Restinga. Sistema Subterrâneo. Escapo. Rizoma. Raiz.

## Abstract

Exploitation of coal is a highly impacting activity to the environment, as its processes release tailings that when deposit in the soil generate acid effluent known as Acid Drainage Mine (DAM), which increases the availability of heavy metals. The species *Eleocharis elongata* occurs naturally in an environment contaminated by DAM in Siderópolis, SC, and in environment free of contamination, in Florianópolis, SC. The present work consisted in the study of the anatomical development of the species, besides a histochemical study of meristems and adult organs, comparative between the two environments in question. For this, samples of the meristematic and adult regions of the rhizome, root and scapular organs were fixed, and processed according to usual techniques in plant anatomy. The results revealed an underground system composed of adventitious roots and by plagiotropic and sympodial rhizome, with cataphylls involving the vegetative and reproductive apices. The presence of the primary thickening meristem was observed in the rhizome, with reduced activity, forming only forming parenchyma cells for the cortical region and adventitious roots; occurrence of intermural meristem in the scape, and caliptrogen, meristematic endoderm and mucilage production bay the epidermis was found in the roots. All the organs presented aerenchyma, typical in species of flooded environments. Histochemical tests revealed rhizome and root similarity to compounds such as proteins, polysaccharides, phenolic compounds and lipid substances between the two environments. The adult scape, however, showed absence of starch grains, of lignin in the fibers of the bundle, less development of palisade parenchyma in DAM (+) individuals, and is believed that these characteristics are related to the presence of the metals in the environment. DAM (-) individuals presented thicker cell walls in different tissues, such as common cells and fibers of the epidermis, fibers of the vascular bundle and endoderm of the rhizome, related to resistance to strong winds and saline stress in restinga environment. In this way, the present study demonstrated that *Eleocharis elongata* presents distinct anatomical adaptations that allow the species to survive in both environments studied.

**KEYWORDS:** Heavy Metals. Underground System. Restinga. Scape. Rhizome. Root.

## Sumário

<b>1.Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo geral.....	5
2.2. Objetivos específicos .....	5
<b>3. Material e método .....</b>	<b>5</b>
3.1. Material botânico.....	5
3.2. Desenvolvimento anatômico e histoquímica .....	7
<b>4. Resultados.....</b>	<b>8</b>
4.1. Caracterização morfológica .....	8
4.2. Desenvolvimento anatômico e histoquímica .....	8
4.2.1. Rizoma .....	8
4.2.2. Escapo.....	16
4.2.3. Raiz .....	21
<b>5. Discussão.....</b>	<b>27</b>
<b>6. Referências.....</b>	<b>33</b>

## 1. Introdução

O carvão mineral é uma fonte de energia não renovável cujos processos de exploração e beneficiamento, bem como seu uso em atividades industriais, são altamente impactantes ao meio ambiente, causando perda de vegetação, danos no sistema hídrico e deposição de sedimentos no solo (Scheibe, 2002; Almeida, 2002; Wong, 2003).

No processo de beneficiamento do carvão mineral, são empregadas técnicas para separar as impurezas envolvidas no carvão, como a pirita, arenitos, siltitos e folhelhos, sendo esses rejeitos depositados no solo (Sampaio, 2002). A pirita origina o sulfeto, que é inicialmente oxidado quimicamente, e, posteriormente, catalisado por bactérias, o que gera o produto conhecido como Drenagem Ácida de Mina (DAM). Em decorrência desta oxidação, há geração de ácido sulfúrico, que lixivia elementos presentes nos solos, atingindo os ecossistemas aquáticos, o que eleva as concentrações de sulfato (Alexandre & Krebs, 1995) e abaixa os valores de pH, interferindo na especiação e distribuição geoquímica dos metais e favorecendo sua partição para a fração dissolvida, bem como sua liberação no solo e sedimentos aquáticos (Salomons, 1995; Alexandre, 1999). Os metais podem ser assimilados pelos organismos aquáticos através das vias de respiração, nutrição e epiderme, ser bioacumulados nos vegetais e animais, e assim percorrer a cadeia alimentar (Spacie, 1995).

Os metais pesados, incorporados nas plantas, podem provocar alterações nos órgãos, tecidos e em nível subcelular, tais como diminuição da transpiração e da fotossíntese, aumento da taxa respiratória, clorose foliar, diminuição e inchaço dos cloroplastos, redução das membranas dos tilacóides, da região meristemática da raiz, inibição do crescimento e intensificação da suberificação e lignificação da raiz, alteração na estrutura da hipoderme e endoderme, diminuição da parte aérea da planta, e redução no acúmulo de matéria seca (Doncheva, 1997; Barceló & Poschenrieder, 1999; Monii *et al.*, 2000), afetando o crescimento vegetal, a fixação de fósforo e causando redução da população edáfica de bactérias fixadoras de nitrogênio (Daniels 1996).

De acordo com Lasat (2002), diversas plantas possuem habilidades de adaptação e sobrevivência a ambientes contaminados, podendo ser classificadas em *acumuladoras*, as quais concentram os metais na parte aérea da planta; *indicadoras*, onde o transporte de metais para a parte aérea é regular, de modo que a concentração interna de metais reflete os níveis externos; e *excluseras*, onde não ocorre transporte regular do metal, sendo na raiz encontrado um provável mecanismo de retenção (Baker, 1981).

Entre as plantas capazes de acumular metais pesados citam-se as macrófitas, as quais são importantes na composição do ecossistema aquático, por serem fonte de alimento e habitat para invertebrados aquáticos e peixes. As macrófitas tem capacidade de acumular grandes quantidades de metais pesados em relação a sua biomassa, através de um processo chamado rizofiltração (Rai, 2009), no qual as raízes realizam adsorção ou precipitação desses contaminantes no sistema radicular (Dunshenkon *et al.*, 1997). Dentre as representantes das macrófitas, citam-se algumas espécies de Cyperaceae Juss, a qual tem mais de 5.000 espécies distribuídas em cerca de 104 gêneros (Goetghebeur, 1998). De acordo com Silva & Mielniczuk (1997) espécies de Cyperaceae, por apresentarem grande densidade de raízes e boa distribuição do sistema radicular no solo, favorecem maior quantidade de pontos de contato com partículas minerais, e podem ser usadas como recuperadoras de áreas degradadas.

A bacia carbonífera sul catarinense é a maior reserva mineral de carvão brasileiro, mais intensamente minerado nas últimas décadas, e nesta área três bacias hidrográficas são consideradas impactadas pela atividade mineradora de carvão: bacia do rio Tubarão, bacia do rio Urussanga e bacia do rio Araranguá, sendo esta última a mais contaminada (Castilhos *et al.*, 2010). De acordo com estudos e diagnósticos ambientais realizados nos rios da região carbonífera de Santa Catarina (Alexandre, 1999; Castilhos *et al.*, 2010), a situação é considerada bem crítica, estando os índices da acidez e metais pesados muito acima do padrão estipulado pela Resolução 20 do CONAMA, conforme tabela abaixo:

Parâmetros	Rio sem influência de Mineração de carvão	Rio com influência de Mineração de carvão	Padrão Resolução 20 do CONAMA
pH	6,5 a 7,4	2,0 a 4,0	6,0 a 9,0
Ferro total	< 4,0 mg/l	10 a 100 mg/L	0,3 a 5,0 mg/l
Sulfatos	8 a 25 mg/l	100 a 1000 mg/l	250 mg/l
Alumínio	0,2 a 0,5 mg/l	10 a 100 mg/l	0,1 mg/l
Chumbo	não determinado	0,02 a 0,2 mg/l	0,1 mg/l
Zinco	não determinado	1 a 5 mg/l	0,1 a 0,5 mg/l
Manganês	não determinado	0,5 a 10 mg/l	0,1 a 0,5 mg/l

Fonte: Alexandre (1999) modificado.

O município de Siderópolis, localizado na bacia do rio Araranguá, é um dos municípios da Bacia Carbonífera Catarinense que apresenta maior parte da sua área territorial degradada pela mineração de carvão, cerca de 980 hectares (De Luca & Gastaldon, 1999; Campos, 2000). Dados recentes obtidos por Castilhos *et al.* (2010) revelaram a situação da qualidade das águas dessa bacia, sendo todos os índices acima do padrão recomendado pelo Conama 2005, conforme tabela abaixo:

Parâmetros	Bacia Rio Araranguá	Padrão Conama 2005
pH	2,9 a 3,2	6,0
Fe total	30 a 55 mg/l	0,1 a 0,3 mg/l
Sulfato	399 a 630 mg/l	290 mg/l
Alumínio	15 a 35 mg/l	0,1 a 0,3 mg/l
Zinco	0,5 a 1,0 mg/l	0,2 mg/l
Manganês	2,5 a 6,5 mg/l	0,1 mg/l

Fonte: Castilhos *et al.* (2010), modificado.

Nas proximidades das minas de carvão desativadas nesta localidade ocorrem diversos efluentes contaminados por DAM correndo à céu aberto. Nestes efluentes a espécie *Eleocharis elongata* Chapm. ocorre naturalmente. O gênero *Eleocharis* R. Br. é um dos mais representativos da família Cyperaceae, apresentando aproximadamente 200 espécies. As espécies do gênero *Eleocharis* R. Br. apresentam maior concentração nas regiões tropicais e subtropicais das Américas (Goetghebeur, 1998), e estão geralmente associadas à ambientes úmidos, com presença de lâmina de água ou solos hidromórficos, como brejos, canais de irrigação, turfeiras, dunas secundárias, campos úmidos, ao redor de açúdes, e margens de riachos (Trevisan & Boldrini, 2008).

De acordo com a literatura, algumas espécies do gênero vêm sendo citadas como acumuladoras de metais pesados, com potencial utilização na remoção destes metais presentes na água e solos contaminados, podendo ser utilizada como fitorremediadoras (Lottermoser & Ashley, 2011). *Eleocharis arsenifera* S. González, J. A. Tena & T. Alarcón, de acordo com González Elizondo *et al.* (2005) é tolerante à arsênio, ocorrendo naturalmente nas margens de lago com elevadas concentrações desse metal, pois foi demonstrado que o acumula em seus tecidos, quando comparada às outras espécies ocorrentes no mesmo local. *Eleocharis equisetina* J. Presl & C. Presl, coletada em águas ácidas de minas abandonadas na Austrália,

apresentou acúmulo de diversos metais nos órgãos subterrâneos (Lottermoser & Ashley, 2011). Entretanto, trabalhos dessa natureza não levam em consideração a organização da estrutura anatômica dessas plantas ocorrendo em local contaminado por DAM.

Dentre os estudos mais relevantes com anatomia de espécies de Cyperaceae, destaca-se o trabalho de Metcalfe (1971), o qual traz a descrição anatômica de várias espécies. Com relação ao desenvolvimento anatômico de órgãos vegetativos de espécies de Cyperaceae citam-se principalmente os trabalhos de Kadej (1963), Rodrigues & Estelita, (2002, 2004, 2009) e Pereira & Rodrigues, (2012). Estudos específicos do desenvolvimento anatômico de espécies de *Eleocharis* são raros, dentre eles destaca-se o trabalho de Eiten (1969), cuja autora enfocou a anatomia do rizoma, raiz e escapo da espécie *E. interestincta* (Vahl) Roem & Schult, o trabalho de Baksh & Richards (2006) os quais analisaram a arquitetura e morfologia do desenvolvimento de *E. cellulosa* Torr., Hinchliff & Roalson (2009) que estudaram a arquitetura do escapo em *Eleocharis* subgênero *Limnochloa* e o trabalho de Martin *et al.* (2014) cujos autores realizaram estudo ontogenético das espiguetas de *Eleocharis viridans*.

Populações de *E. elongata* além de ocorrer em ambiente contaminado por DAM na região de Siderópolis, também ocorrem naturalmente em ambiente não poluído por DAM no município de Florinópolis, SC. Desta forma, o presente trabalho tem por objetivos estudar o desenvolvimento anatômico dos órgãos, raiz, rizoma e escapo de *E. elongata*, a fim de compreender a origem dos seus tecidos constituintes e contribuir com informações anatômicas úteis para a família Cyperaceae, além de analisar comparativamente, através da histoquímica indivíduos de *E. elongata* ocorrente em local contaminado e não contaminado por DAM, a fim de verificar possíveis alterações estruturais.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo geral

Descrever as etapas do desenvolvimento anatômico dos órgãos raiz, rizoma e escapo de *Eleocharis elongata* bem como analisar comparativamente, através da histoquímica, indivíduos de *E. elongata* ocorrente em local contaminado e não contaminado por Drenagem Ácida de Mina (DAM).



## 2.2. Objetivos específicos

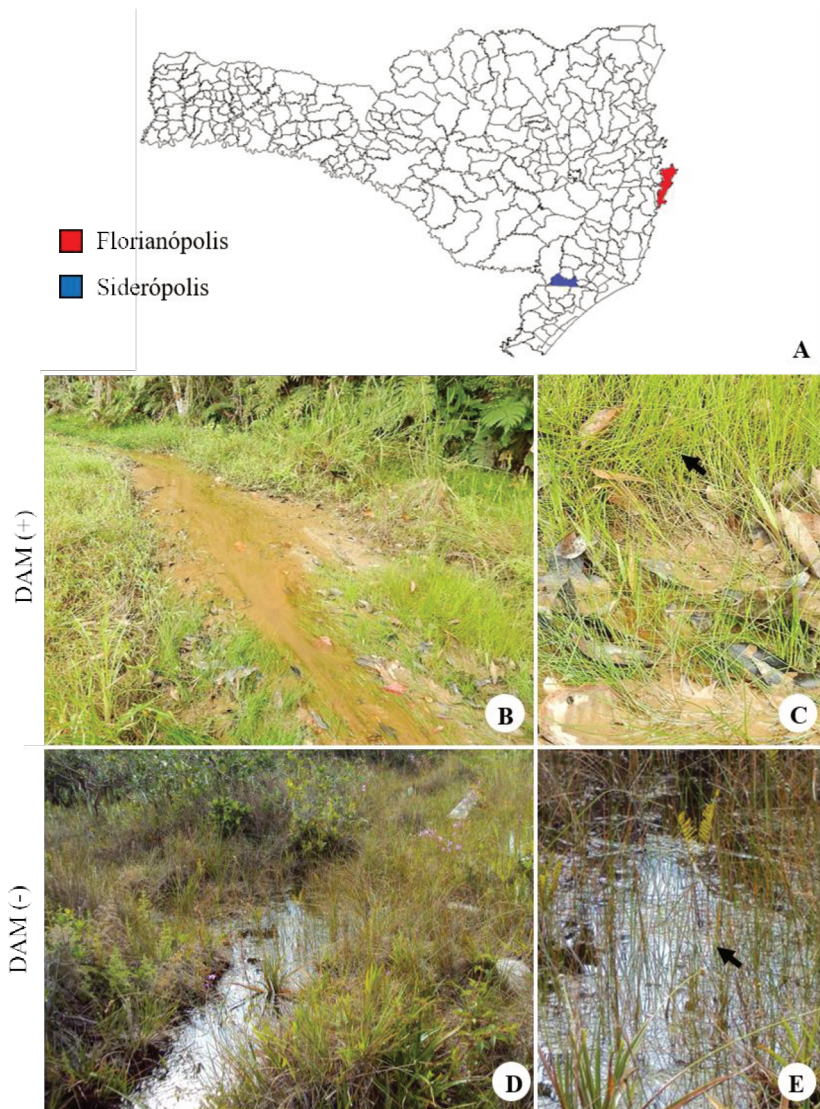
- Descrever as etapas do desenvolvimento anatômico da raiz, rizoma e escapo floral, a partir dos meristemas apicais;
- Comparar através de testes histoquímicos de regiões meristemáticas e adultas da raiz, rizoma e escapo, indivíduos de ambiente contaminado e indivíduos de ambiente livre de contaminação por DAM.

## 3. Material e método

### 3.1. Material botânico

Para o presente estudo, indivíduos de *Eleocharis elongata* foram coletados em dois locais distintos no Estado de Santa Catarina (Fig. 1A): em ambiente contaminado por Drenagem Ácida de Mina (DAM +) e em ambiente livre de contaminação (DAM -). O ambiente DAM (+) é um efluente da antiga Mina São Geraldo, localizada na Comunidade São Geraldo, no Município de Siderópolis (S 28°37'07.72" e W 49°23'44.04") (Fig. 1A-C). O ambiente apresenta solo alagado, de aspecto alaranjado, com pH ácido (1,89) ocasionado pela DAM. O ambiente DAM (-) é em uma região de restinga, no Bairro Rio Vermelho, na costa leste do Município de Florianópolis ("S 27°30'11.99" e W 48°24'39.95") (Fig 1A, D-E), localizado às margens do Parque Ecológico do Rio Vermelho. O ambiente é alagado com pH levemente ácido (4,45), com grande acúmulo de matéria orgânica, pela presença de turfeiras, compostas principalmente por briófitas do gênero *Sphagnum*, associadas com a acidificação do meio (Mendes & Dias, 2001; Moura, 2004).

Em cada ambiente foram selecionados três pontos distintos, dos quais foram coletados dez indivíduos de *E. elongata*, totalizando trinta indivíduos por ambiente. Dois indivíduos de cada ambiente foram depositados no Herbário Flor (UFSC). Os demais foram destinados aos estudos morfoanatômicos do desenvolvimento e histoquímicos.



**Figura 1:** Áreas de coleta. **A.** Localização dos Municípios de Florianópolis e Siderópolis no Estado de Santa Catarina. **B-C.** Ambiente DAM (-) no bairro Rio Vermelho, Florianópolis. **D-E.** Ambiente DAM (+), efluente proveniente da mina São Geraldo, em Siderópolis. Observa-se a ocorrência de *E. elongata* (seta).

### 3.2 Desenvolvimento anatômico e histoquímica

Para o estudo do desenvolvimento anatômico, amostras dos meristemas apicais radiculares (MAR) e dos meristemas apicais caulinares (MAC), bem como regiões adultas dos órgãos raiz e caule (rizoma e escapo) foram fixadas em FAA 70° GL (Johansen, 1940) por 24 horas, em seguida foram estocados em etanol 70°GL. Posteriormente foram desidratadas em série butanólica terciária crescente, pré-infiltradas em óleo de parafina e butanol terciário (1:1 v/v), infiltradas em parafina, e incluídas em parafina pura (Johansen, 1940). Os blocos foram seccionados (15 µm), em micrótomo rotativo (RM 2125 RT Leica Microsystem, Nussoch, Alemanha). As secções foram coradas com safranina 1% e azul de astra 1% (Bukatsch, 1972), e montadas em bálsamo-do-canadá sintético.

Para as análises histoquímicas, amostras do MAR e do MAC foram fixadas em glutaraldeído 2,5% em tampão fosfato de sódio 0,1M e pH 7,2 (Feder & O'Brien, 1968) por 12 horas, em seguida foram lavados no mesmo tampão, desidratadas em série etanólica e armazenadas em etanol 70°GL. Posteriormente as amostras foram infiltradas e emblocadas em historesina (Leica Historesina, Heidelberg, Germany), conforme metodologia do fabricante. Os blocos foram seccionados (5 µm), em micrótomo rotativo acima citado. Foram realizados testes com Ácido Periódico de Schiff (PAS) para verificar ocorrência de polissacarídeos neutros (Gahan, 1984), azul de toluidina (ATO) 0,5 % pH 4,0 para identificar polissacarídeos ácidos (O'Brien, *et al.*, 1964), e azul brilhante de Comassie (CBB) 0,4% em solução de Clarke, para identificar proteínas (Gahan, 1984).

Testes histoquímicos também foram realizados nos órgãos adultos (raiz, rizoma e escapo) com amostras previamente fixadas em FAA 70° GL. Para isso foram realizadas secções à mão livre com auxílio de lâmina de barbear e isopor, as quais foram submetidas aos reagentes Sudan III, para detectar lipídios e paredes cutinizadas (Foster, 1949), Lugol para detectar amido, Floroglucinol em meio ácido para detectar lignina, e Cloreto férrico para detectar substâncias fenólicas (Johansen, 1940).

Todas as lâminas foram analisadas em microscopia de luz e as imagens capturadas em microscópio (Leica, DM 2500) com câmera (Leica DFC 295) acoplada.

## 4. Resultados

### 4.1. Caracterização morfológica

*Eleocharis elongata* apresenta sistema subterrâneo formado por rizoma histolonífero, ou seja, que se assemelha a um estolão, e por raízes adventícias (Fig. 2A-D). O rizoma é plagiotrópico, fino e simpodial, de coloração marrom na maturidade (Fig. 2A, C). Os ápices são protegidos por catafilos, os entrenós são alongados e dos nós surgem as raízes adventícias, as quais são finas, tenras, com ramificações de primeira ordem, sendo esbranquiçadas quando jovens e marrons na maturidade (Fig. 2B, D). Do rizoma surgem também os escapos florais, os quais quando jovens são envolvidos por catafilos, que permanecem na base do escapo na maturidade (Fig. 2B, D). Os escapos são perenes e fotossintetizantes (Fig. 2A, C), podendo ser reprodutivos ou não. Quando reprodutivos, formam a espiguetta no ápice, no início de seu desenvolvimento.

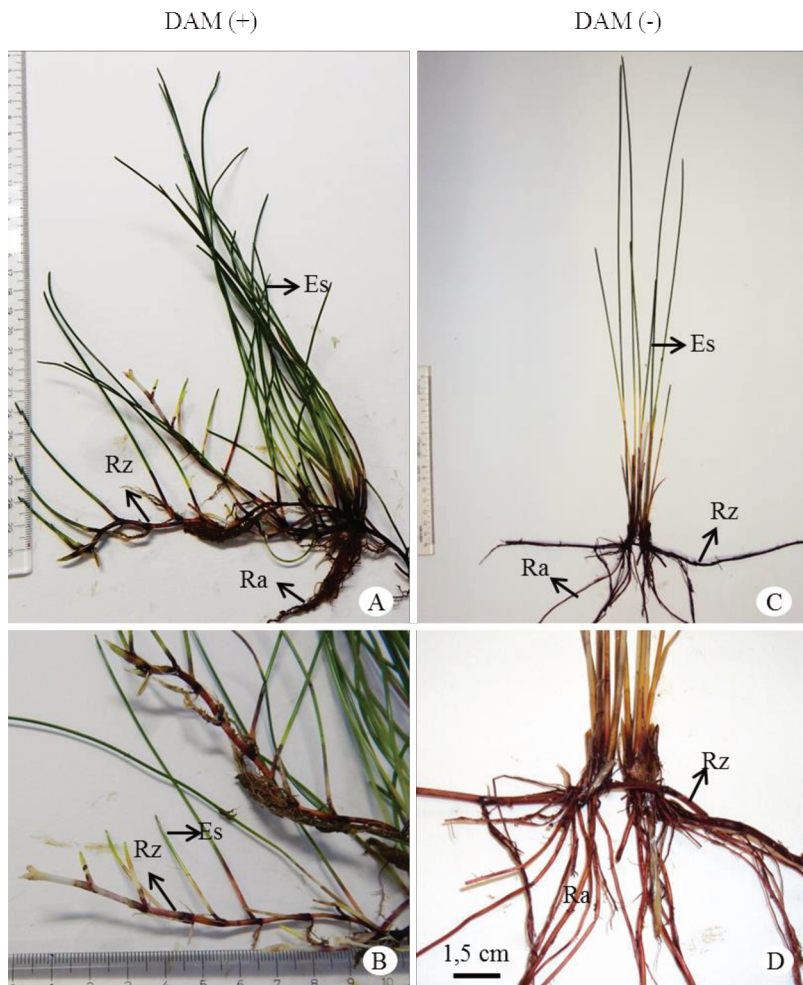
### 4.2. Desenvolvimento anatômico e histoquímica

#### 4.2.1. Rizoma

Em secções longitudinais do MAC é visível a presença de gemas reprodutivas e vegetativas, ambas circundadas por catafilos (Fig. 3A). Nas gemas vegetativas observa-se o promeristema com organização túnica-corpo, constituído de células pequenas, compactas, com núcleo proeminente e citoplasma denso (Fig. 3B). A túnica contém duas camadas de células, as quais sofrem divisões anticlinais, e o corpo é constituído de várias camadas de células, as quais sofrem divisões em todos os planos (Fig. 3B).

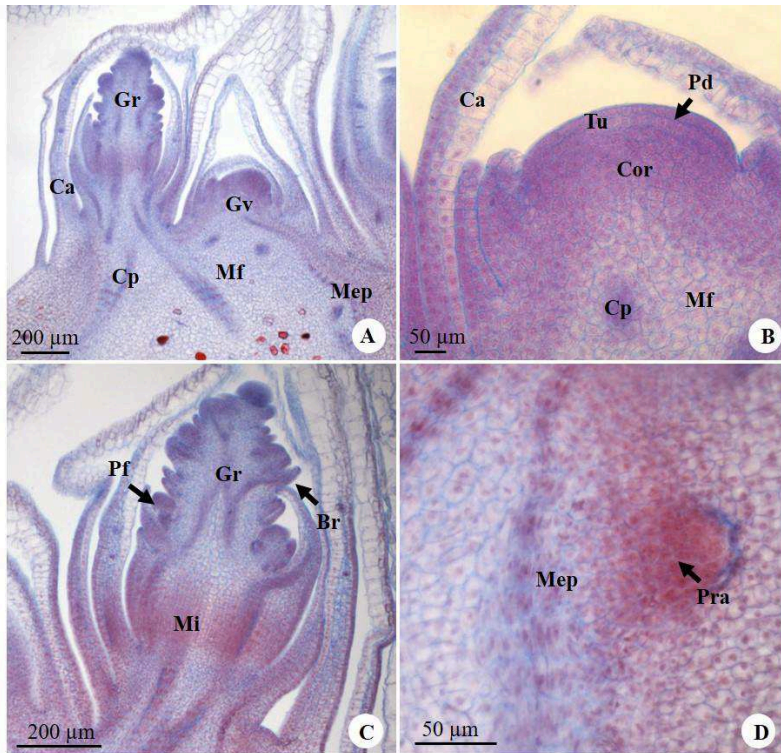
As análises histoquímicas realizadas no MAC revelaram uma reação mais intensa ao PAS na região do promeristema, indicando maior presença de polissacarídeos neutros nos indivíduos do ambiente DAM (+) em relação aos indivíduos DAM (-) (Fig. 4A-D). Entretanto, a presença de grãos de amido no meristema fundamental foi observada apenas nos indivíduos DAM (-). Com relação à presença de proteínas, com o CBB verifica-se, em ambos os ambientes (Fig. 4E-H), a centralização de núcleo e nucléolo, o citoplasma denso, e ausência de reação nas paredes celulares, entretanto, percebe-se reação mais intensa no núcleo e citoplasma nos indivíduos DAM (-) (Fig. 4E-F) em relação aos indivíduos DAM (+). A reação com ATO evidenciou, em ambos os ambientes, a presença de idioblastos com compostos fenólicos na região

do meristema fundamental em diferenciação, em especial na região cortical do rizoma e base das brácteas (Fig. 4I-J).



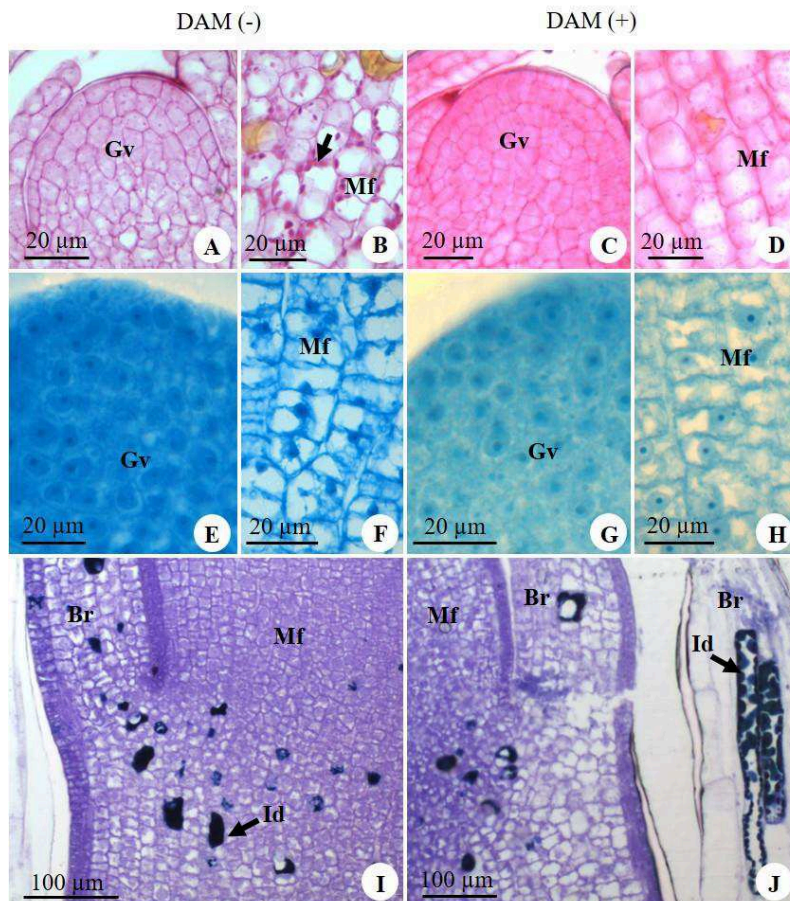
**Figura 2.** Morfologia da espécie *Eleocharis elongata* em ambiente DAM (+) e DAM (-). **A-B.** Vista geral do sistema subterrâneo composto por rizoma e raízes adventícias, e sistema aéreo formado por escapos fotossintetizantes. **C-D.** Detalhe do sistema subterrâneo, evidenciando rizoma simpodial e plagiotrópico, originando as raízes e os escapos. Es – escapo; Ra – raiz adventícia; Rz – rizoma.

Durante a diferenciação do rizoma, a camada mais externa da túnica dá origem à protoderme, e logo abaixo do corpo observam-se os cordões procambiais em meio ao meristema fundamental (Fig. 3B). Abaixo do promeristema, observa-se o meristema de espessamento primário (MEP) (Fig. 3A,D), constituído por algumas camadas de células estratificadas, o qual é responsável pelo espessamento primário do rizoma e formação de raízes adventícias (Fig. 3D).



**Figura 3.** Secções longitudinais do meristema apical caulinar de *E. elongata*. **A.** Gemas vegetativas e reprodutivas envoltas por primórdios de catafilos. **B.** Gema vegetativa com organização túnica-corpo. **C.** Gema reprodutiva com presença de meristema intercalar e ápice floral. **D.** Formação de primórdio radicular pelo meristema de espessamento secundário. Br – bráctea; Ca – catafilo; Cor – Corpo; Cp – cordões procambiais; Gr – gema reprodutiva; Gv – gema vegetativa; Mep – meristema de espessamento secundário; Mf – meristema fundamental; Mi – meristema intercalar; Pd – protoderme; Pf – primórdio floral; Pra – primórdio radicular; Tu – túnica.





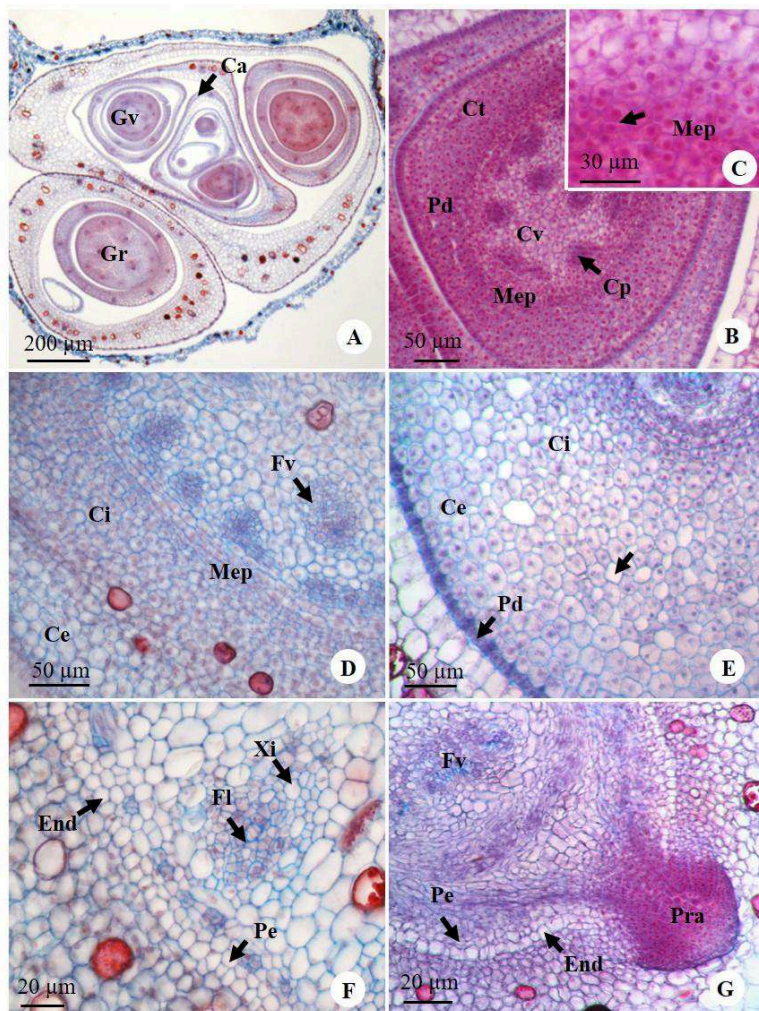
**Figura 4.** Testes histoquímicos em secções longitudinais do meristema caulinar de *E. elongata*. em ambiente DAM (-) e DAM (+). **A-D.** Reação com Ácido Periódico de Schiff nas paredes celulares, em maior intensidade no ambiente DAM (+). **B.** Presença de amiloplastos (seta). **E-H.** Reação com Azul Brilhante de Comassie, em maior intensidade no ambiente DAM (-). **E, G.** Reação no núcleo e nucléolo centralizados, e no citoplasma denso. **F, H.** Reação na parede das células. **I-J.** Reação com Azul de Toluidina, evidenciando compostos fenólicos no meristema fundamental. Br - bráctea; Id - idioblasto; Gv - gema vegetativa; Mf - meristema fundamental.

De modo geral, os testes histoquímicos revelaram reação mais intensa nos indivíduos do ambiente DAM (-), principalmente na epiderme e tecidos vasculares (Fig. 7A-I) em comparação aos indivíduos

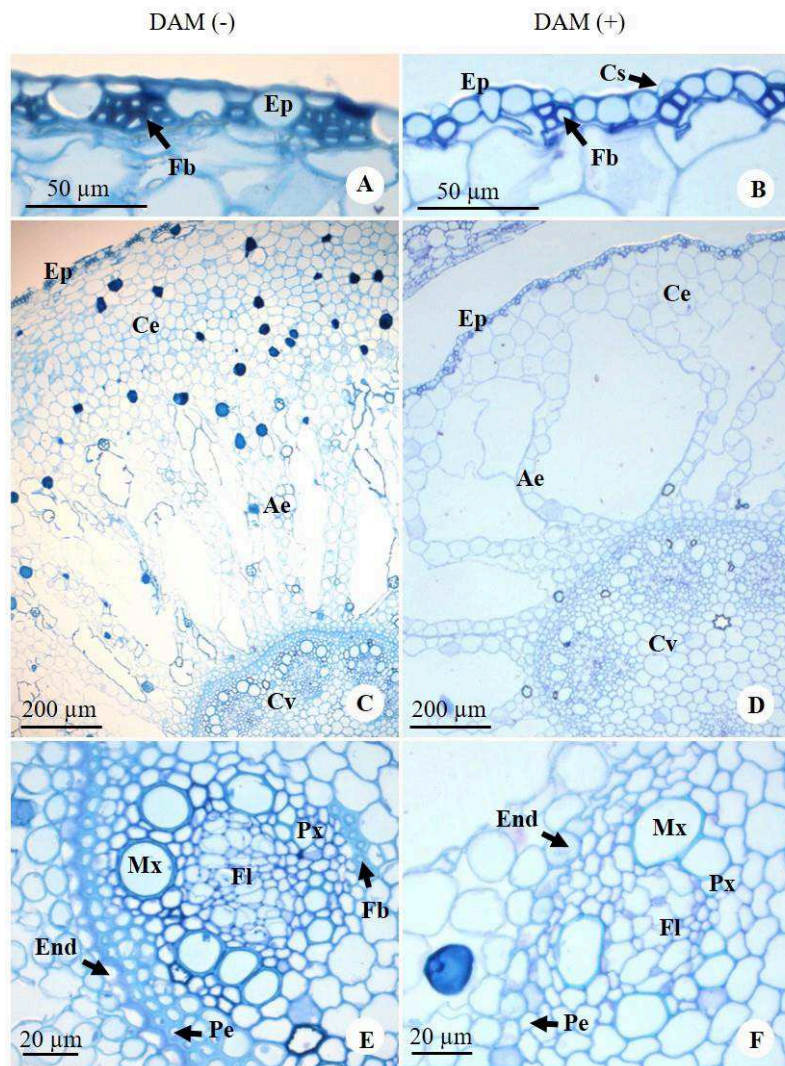
DAM (+). A epiderme nos indivíduos DAM (-) mostrou presença de suberina nas suas paredes (Fig. 7B, J). Em DAM (+) estas reações foram fracas ou inexistentes, mostrando apenas lamela de suberina na endoderme (Fig. 7C).

O teste com Lugol demonstrou a presença de grãos de amido nas células do aerênquima e córtex externo, em maior quantidade no ambiente DAM (-) (Fig 7E-F) em relação ao DAM (+) (Fig 7G-H). Dentro do cilindro vascular houve reação, na região da medula, somente no ambiente DAM (-) (Fig 7E). Idioblastos com compostos fenólicos foram mais evidentes nas células da medula, células do xilema e córtex em ambos os ambientes (Fig 7I,K). Também se observa reação positiva ao cloreto férrico nas fibras epidérmicas em ambos os ambientes (Fig 7J,L). Com Floroglucinol não foi detectada presença de lignina em nenhum dos ambientes.



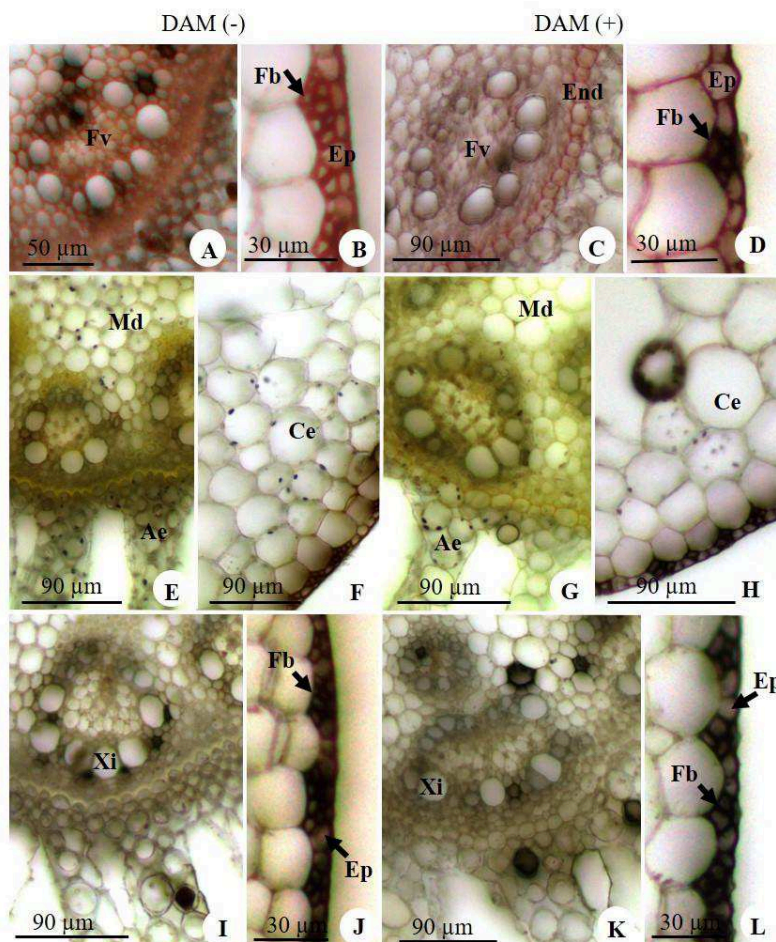


**Figura 5** Secções transversais do meristema apical caulinar em desenvolvimento de *Eleocharis elongata*. **A.** Gemas vegetativas e reprodutivas envoltas por primórdios de catafilos. **B.** Gema vegetativa, meristema de espessamento primário delimitando o cilindro vascular. **c.** Células do MEP em divisões periclinais. **D.** Início da divisão do córtex em interno e externo. **E.** Células epidérmicas em diferenciação e formação de espaços esquizógenos no córtex interno. **F.** Xilema, floema, endoderme e periciclo diferenciados. **G.** Formação dos primórdios radiculares. Ce – córtex externo; Ci – córtex interno; Ct – córtex; Cv – cilindro vascular; End – endoderme; Fl – floema; Fv – feixe vascular; Gr – gema reprodutiva; Gv – gema vegetativa; Mep – meristema de espessamento primário; Pd – protoderme; Pe – periciclo; Pra – primórdios radiculares; Xi – xilema.



**Figura 6** Secções transversais do rizoma adulto de *Eleocharis elongata* em ambiente DAM (-) e ambiente DAM (+). **A-B.** Epiderme unisseriada com cordões de fibras e células com sílica. **C-D.** Vista geral do córtex. **E-F.** Detalhe do cilindro vascular, evidenciando endoderme e periciclo, além de feixe vascular anfigasal. Observam-se espessamentos de parede mais evidentes em ambiente DAM (-). Ae – aerênquima; Ce – córtex externo; Cv – cilindro vascular; End – endoderme; Ep – epiderme; Fb – fibras; Fl – floema; Mx – metaxilema; Pe – periciclo; Px – protoxilema.





**Figura 7.** Secções transversais do rizoma adulto de *Eleocharis elongata* submetido à testes histoquímicos em ambiente DAM (-) e DAM (+). **A-D.** Reação com Sudan III. **A-B.** Reação positiva nas paredes celulares do feixe vascular e epiderme, respectivamente. **c.** Reação positiva evidenciando lamela de suberina na endoderme. **D.** Reação positiva na epiderme. **E-H.** Reação com Lugol mostrando maior frequência de grãos de amido na medula e córtex do ambiente DAM (-) (e-f) em comparação com DAM (+) (f-h) **I-L.** Reação com Cloreto Férrico. **I, K.** Presença de compostos fenólicos no aerênquima e xilema. **J, L.** Reação na epiderme e fibras epidérmicas. Ae - aerênquima; Ce - córtex externo; End - endoderme; Ep - epiderme; Fb - fibras; Fv - feixe vascular; Md - medula; Xi - xilema.

#### 4.2.2. Escapo

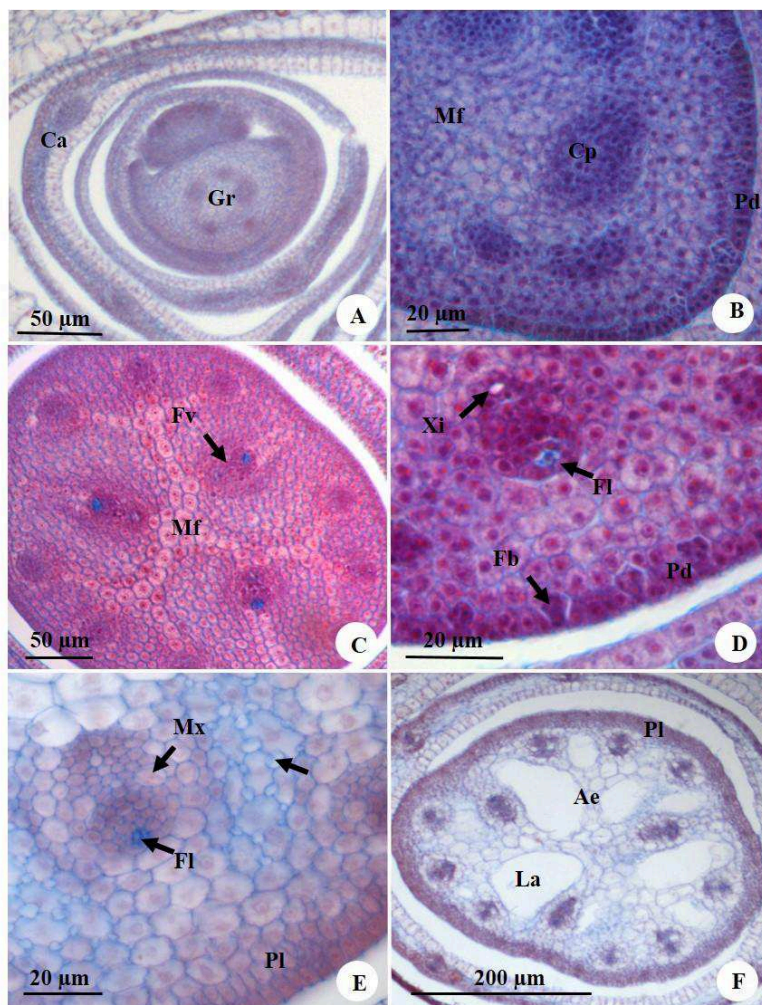
Em secção longitudinal do MAC observa-se que as gemas reprodutivas são mais alongadas em relação às gemas vegetativas, devido à ocorrência do meristema intercalar (Fig. 3A, C). Muito precocemente já se observa o desenvolvimento dos primórdios de espiguetas (Fig. 3C). O meristema intercalar é composto por cerca de 15 camadas de células estratificadas (Fig. 3C).

Em secções transversais de gemas reprodutivas (Fig. 8A), abaixo da espiguetas, observam-se a protoderme e os cordões procambiais distribuídos em meio ao meristema fundamental (Fig. 8B). Posteriormente, os cordões procambiais começam a se diferenciar em feixes vasculares colaterais (Fig. 8C-D). Na protoderme, observa-se parte das células se diferenciando em células epidérmicas comuns, e em certos pontos, células que sofrem diversas divisões, que dão origem aos cordões de fibras da epiderme (Fig. 8D).

No meristema fundamental, entre os feixes vasculares diferenciam-se dois tipos de células (Fig. 8C): umas maiores, que envolvem e ligam os feixes vasculares e delimitam pequenas regiões, aonde estão outros tipos de células, menores, as quais se diferenciam em células braciiformes com pequenos espaços esquisógenos (Fig 8E - seta). Posteriormente, essas células braciiformes constituem os diafragmas, os quais interrompem as lacunas de ar formadas entre os feixes vasculares (Fig. 8F). Nesse estágio do desenvolvimento, também pode ser observado, na periferia do órgão, a diferenciação das células do parênquima paliçádico, onde as células começam a tomar um formato alongado, além da total diferenciação dos feixes vasculares colaterais (Fig. 8E-F).

O órgão maduro em secção transversal em ambos os ambientes estudados é cilíndrico, apresentando na região periférica a epiderme, seguida pelo parênquima paliçádico e internamente o aerênquima, com amplas lacunas de ar e feixes vasculares colaterais (Fig. 9A-B).

A epiderme é composta por células comuns, fibras, células silicosas e estômatos (Fig. 9C-D). As células comuns são arredondadas com parede periclinal externa espessada, as fibras apresentam-se em cordões com uma célula silicosa superior, podendo esta estar rompida, e os estômatos estão situados ao nível das demais células comuns da epiderme (Fig 9C-D). Entre os ambientes analisados percebe-se maior espessamento tanto da parede periclinal externa das células epidérmicas comuns, quanto das fibras epidérmicas nos indivíduos DAM (-).



**Figura 8.** Secções transversais da gema reprodutiva de *E. elongata* em desenvolvimento. **A.** Vista geral mostrando meristema apical da gema envolvido por primórdios de catafilos. **B.** Em aumento, observa-se a protoderme e a disposição circular dos cordões procambiais no meristema fundamental. **C.** Início da formação dos cordões de aerênquima e de feixes vasculares. **D.** Diferenciação do xilema, floema e da protoderme. **E.** Diferenciação do parênquima paliçádico, do feixe vascular colateral e detalhe dos espaços intercelulares no parênquima (seta). **F.** Formação de lacunas no aerênquima. Ae - aerênquima; Ca - primórdios de catafilos; Cp - cordões procambiais; Fb - fibras epidérmicas; Fl - floema; Fv - feixe vascular; Gr - gema reprodutiva; La - lacuna; Mf - meristema fundamental; Mx - metaxilema; Pd - protoderme; Pl - parênquima paliçádico; Xi - xilema.

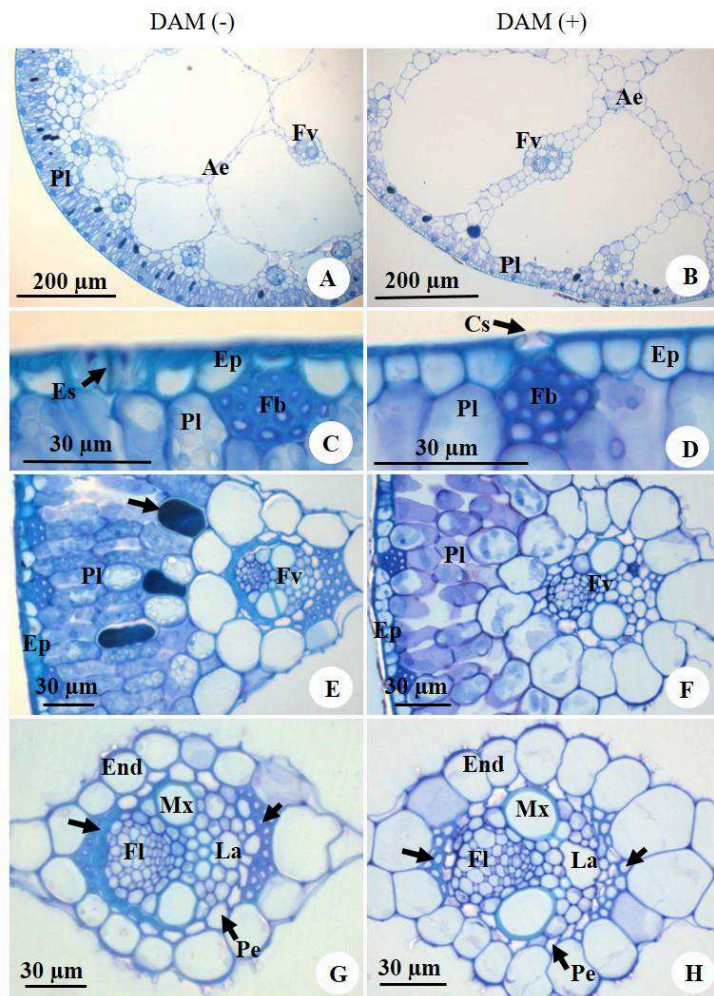
O parênquima clorofiliano paliçádico pode ter de duas a três camadas de células (Fig. 9E-F), sendo que no ambiente DAM (-), as células do parênquima paliçádico apresentam-se mais alongadas e justapostas (Fig. 9E), já no ambiente DAM (+), o parênquima é mais frouxo, composto por células com formato mais arredondado (Fig. 9F). Idioblastos com substâncias fenólicas foram observados em maior quantidade em ambiente DAM (-) (Fig. 9E - seta) em relação ao ambiente DAM (+) (Fig. 9F).

Os feixes vasculares ocorrem em maior concentração na periferia do escapo em contato com o parênquima paliçádico (Fig. 9A-B, E-F) em comparação com a região central do órgão. (Fig 9A-B). Os feixes vasculares são colaterais e apresentam-se circundados por uma bainha externa formada por células parenquimáticas grandes e arredondadas que constituem a endoderme. A camada mais interna é composta de células de paredes finas e células espessadas nos polos dos feixes, constituindo o periciclo e fibras pericíclicas, respectivamente (Fig 9G-H, setas). As fibras apresentam-se mais espessadas no ambiente DAM (-) (Fig 9G - seta) em comparação ao DAM (+) (Fig 9H - seta).

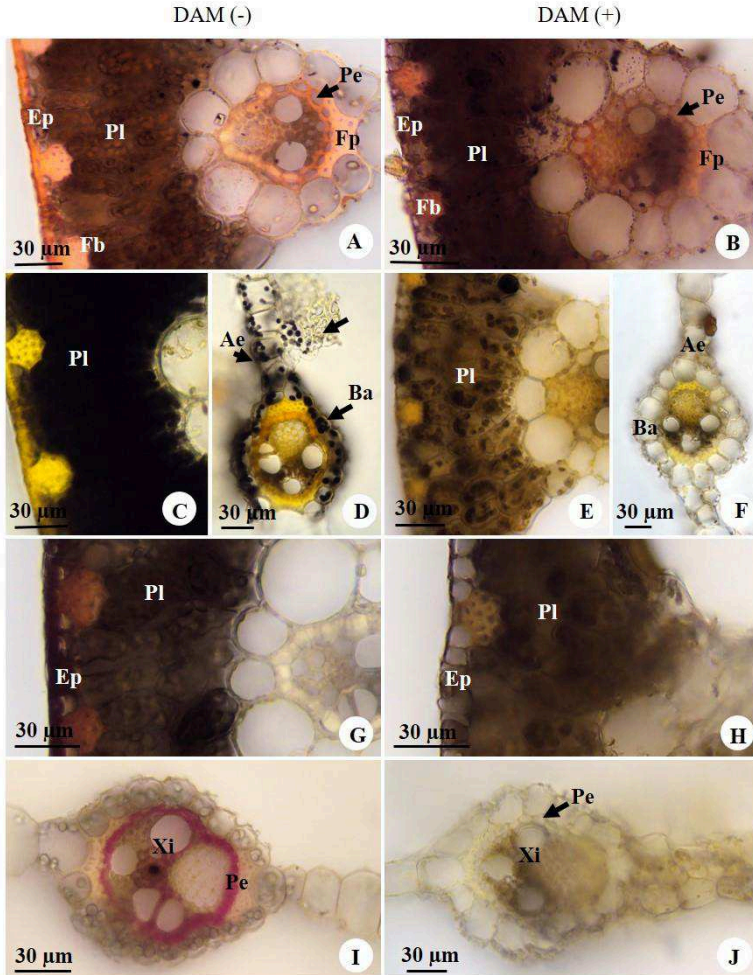
Em geral, os testes histoquímicos indicaram reações mais intensas nos indivíduos do ambiente DAM (-) em relação aos indivíduos DAM (+) (Fig. 10A-J). A presença de cutícula evidente, bem como substâncias lipídicas nas paredes das fibras epidérmicas e fibras pericíclicas, foi mais evidente no ambiente DAM (-). Nos indivíduos DAM (+), não foi detectada a presença de grãos de amido (Fig. 10E-F), em comparação com indivíduos DAM (-), o qual apresenta grande concentração de grãos de amido no parênquima paliçádico, na bainha do feixe e no aerênquima (Fig 10C-D), com exceção das células braciformes do diafragma, que não apresentaram amido (Fig. 10D - seta).

O teste com Cloreto férrico mostrou a presença de substâncias fenólicas na parede periclinal externa das células comuns da epiderme, bem como nas fibras epidérmicas no ambiente DAM (-) (Fig. 10G) em comparação ao ambiente DAM (+), além de confirmar a presença de idioblastos com substâncias fenólicas no parênquima paliçádico (Fig 10G-H). No teste com floroglucinol, somente os indivíduos DAM (-) apresentaram reação positiva, mostrando a presença de lignina na parede celular das células do periciclo e dos elementos de vaso do xilema (Fig. 10I) em comparação com os indivíduos DAM (+), os quais mostraram reação negativa para esses tecidos (Fig. 10J).





**Figura 9.** Secções transversais do escapo adulto de *Eleocharis elongata* em ambiente DAM (-) e ambiente DAM (+). **A-B.** Visão geral mostrando disposição do parênquima paliçádico e aerênquima e feixes vasculares em região central. **C-D.** Detalhe da epiderme com células comuns, estômatos, cordões de fibras e célula silicosa. **E-F.** Região periférica do órgão, mostrando parênquima paliçádico e feixe vascular. Destacam-se parênquima paliçádico mais compacto e presença de idioblastos com compostos fenólicos no ambiente DAM (-). **G-H.** Detalhe do feixe vascular, evidenciando maior espessamento nas calotas de fibras (setas) e no periciclo em ambiente DAM (-). Ae - aerênquima; Cs - Célula silicosa; End - endoderme; Ep - epiderme; Es - Estômato; Fb - fibras; Fl - floema; Fv - feixe vascular; La - lacuna; Mx - metaxilema; Pe - periciclo; Pl - parênquima paliçádico.



**Figura 10.** Secções transversais do escapo adulto de *E. elongata* submetido à testes histoquímicos em ambiente DAM (-) e DAM (+). **A-B.** Reação com Sudan III. Destacam-se reação positiva na parede periclinal externa da epiderme no periciclo e fibras pericíclicas em ambiente DAM (-). **C-F.** Reação com Lugol, evidenciando a presença de grãos de amido no parênquima paliçádico e aerênquima em ambiente DAM (-), com ausência destes no diafragma (seta). **G-H.** Reação com Cloreto Férrico, mostrando presença de compostos fenólicos em idioblastos no parênquima paliçádico, nas paredes das células epidémicas em maior intensidade em DAM (-). **I-J.** Reação com Floroglucinol evidenciando reação positiva para presença de lignina nas células dos elementos de vaso do xilema e células do periciclo em ambiente DAM (-). Ae - aerênquima; Ep - epiderme; Fb - fibras; Ba - bainha; Pe - periciclo; Pl - parênquima paliçádico; Xi - xilema.



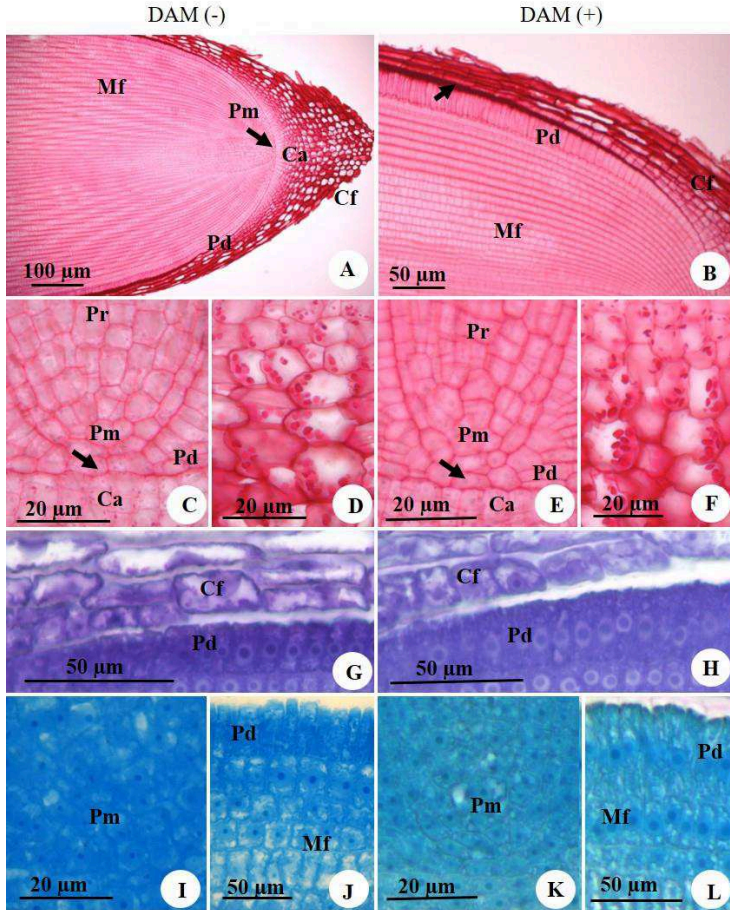
### 4.2.3. Raiz

Em secções longitudinais do MAR observa-se o promeristema, e a partir dele a formação do procâmbio, da protoderme e do meristema fundamental; e observa-se ainda o caliptrogêneo formando a coifa (Fig. 11A-F). No promeristema pode ser identificada a célula inicial (Fig. 11C, E, seta), comum à protoderme e ao meristema fundamental. O procâmbio é central ao meristema fundamental, e é formado por células alongadas, que se diferenciam nos elementos vasculares, logo acima do promeristema. A protoderme é constituída de uma camada de células que se alongam, a medida que se distanciam da célula inicial, e começam a secretar mucilagem, que fica armazenada entre as células da epiderme e as da coifa (Fig. 11B). A coifa é bem desenvolvida, apresenta várias camadas de células compactas de paredes finas quando recém formadas, tornando-se mais frouxas na periferia (Fig. 11A-B, D, F).

Os testes histoquímicos revelam reação positiva ao PAS em paredes celulares e citoplasma em ambos os ambientes com intensidades semelhantes (Fig. 11A-F), evidenciando a presença de polissacarídeos nas células da coifa e na secreção mucilagínosa (Fig 11B-seta), e ainda presença de amiloplastos nas células da coifa (Fig. 11D, F) em ambos os ambientes. O teste ATO revelou reação para polissacarídeos neutros nas paredes das células epidérmicas e da coifa em ambos os ambientes (Fig. 11G-H). O CBB evidenciou núcleos, nucléolos e citoplasmas com intensidade de reação semelhantes entre os ambientes analisados, e destacou ainda presença de muitos e pequenos vacúolos não corados (Fig. 11I-L).

Em secções transversais, a partir do promeristema é possível acompanhar o desenvolvimento dos tecidos da raiz (Fig. 12A-F). A região cortical é originada parcialmente pelo meristema fundamental e em parte pela endoderme meristemática, que muito precocemente inicia sua atividade, formando camadas de células para o exterior de forma radiada, assim formando o córtex interno das raízes (12B, D-F).

No cilindro vascular os elementos vasculares começam a se diferenciar, sendo observados protoxilema, floema e metaxilema (Fig. 12b, E-F). Células da coifa ainda podem ser observadas a certa distância do promeristema (12A, C) durante a diferenciação da epiderme a partir da protoderme (Fig.12C-D). Posteriormente, a endoderme meristemática cessa sua atividade e se diferencia, tornando-se inicialmente vacuolada (Fig. 12E-F).



**Figura 11.** Secções longitudinais do meristema apical radicular de *Eleocharis elongata* submetido à testes histoquímicos em ambiente DAM (-) e DAM (+). **A.** Vista geral da raiz, mostrando a organização do meristema fundamental, protoderme, procâmbio, promeristema e coifa, originada do caliptrôgênio. **B.** Na seta, observa-se a secreção mucilagínosa. **C, E.** Na seta, observa-se a célula inicial do promeristema. **A-F.** Reação com Ácido Periódico de Schiff, evidenciando reação nas paredes celulares e citoplasma. **D, F.** Detalhe das células da coifa, com presença de amiloplastos. **G-H.** Teste com Azul de toluidina, mostrando ausência de compostos fenólicos. **I-L.** Reação com Azul Brilhante de Comassie. **I, K.** Nas células do promeristema, observam-se núcleos e nucléolos centralizados e citoplasma denso. **J, L.** Observa-se no meristema fundamental reação nas paredes celulares, e na protoderme a posição lateralizada do núcleo. Ca - caliptrôgênio; Cf - coifa; Mf - meristema fundamental; Pd - protoderme; Pm - promeristema; Pr - procâmbio.

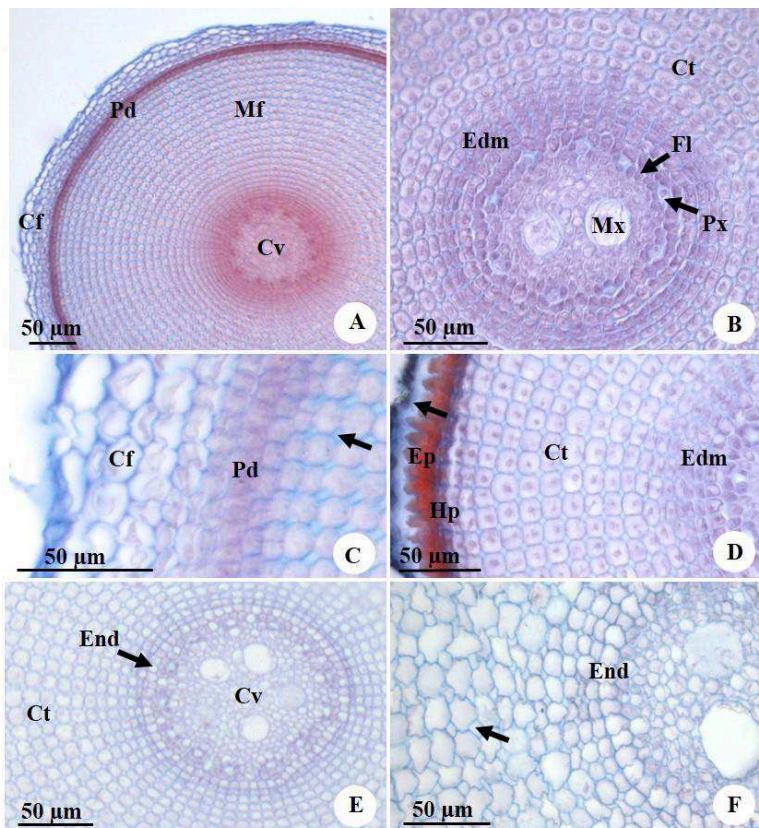
No parênquima cortical observa-se a formação de espaços intercelulares esquizógenos, e no cilindro vascular observam-se o periciclo e os elementos vasculares do protoxilema e floema diferenciados, e os elementos do metaxilema ainda em diferenciação (Fig. 12E-F).

Na raiz adulta de ambos os ambientes, observa-se a epiderme, o córtex diferenciado, onde podem ser distinguidos o córtex externo e córtex interno constituído de aerênquima esquisolisígeno, e o cilindro vascular (Fig. 13A-B). A epiderme é unisseriada, composta por células retangulares e muitos pelos radiculares no ambiente DAM (-), e constituída por células alongadas com paredes sinuosas no ambiente DAM (+) (Fig. 13C-D). O córtex externo ou hipoderme é formado por número variado de camadas celulares, sendo a camada mais externa constituída de células espessadas, melhor observadas no ambiente DAM (-) (Fig. 13C). As demais células apresentam paredes finas e poucos espaços intercelulares (Fig. 13C-D).

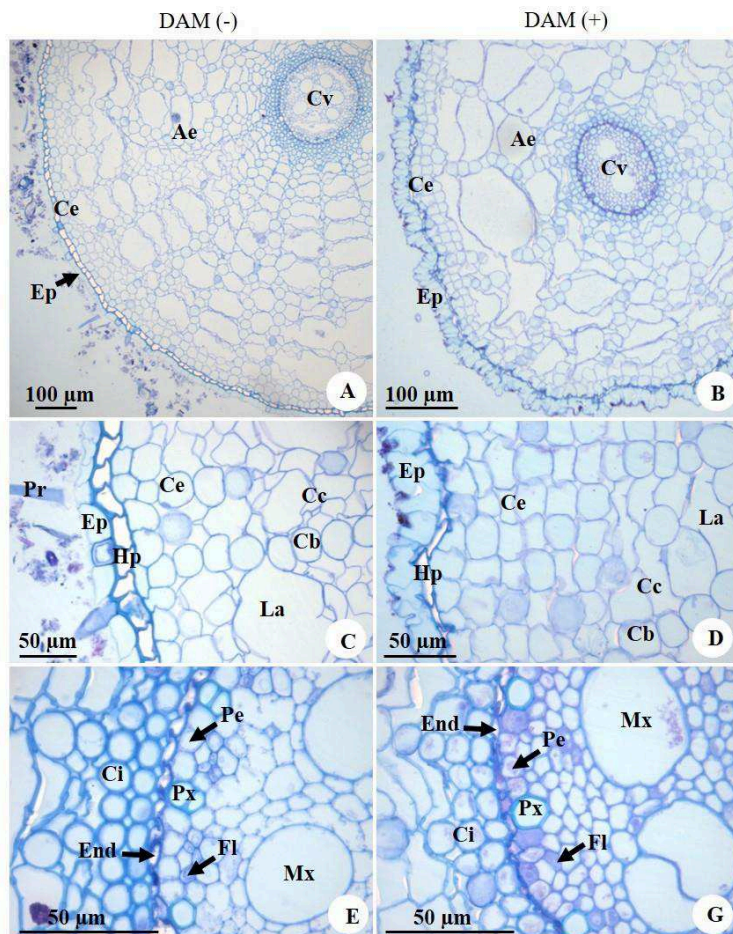
O córtex interno é composto por aerênquima esquisolisígeno do tipo teia-de-aranha (Fig 13C-D), e as camadas mais internas deste apresentam espessamentos de parede, mais evidentes no ambiente DAM (-). A endoderme apresenta leve espessamento de parede, o periciclo é unisseriado, interrompido por pólos de protoxilema de número variável, e o cilindro vascular é do tipo poliarco (Fig. 13E-F).

Os testes histoquímicos indicaram a presença de poucos grãos de amido na região cortical em ambos os ambientes (Fig. 14A-B). O teste com Sudan III mostrou presença de lamela de suberina na camada mais externa do córtex externo no ambiente DAM (-) (Fig 14C) e ausência em ambiente DAM (+) (Fig. 14E), e ausência desta lamela na endoderme em ambos os ambientes (Fig 14D, F).

O Cloreto Férrico indicou presença de compostos fenólicos nas paredes das células do córtex interno em ambos os ambientes (Fig 14G, H). O teste realizado com Floroglucinol mostrou reação positiva para lignina na camada mais externa do córtex externo, em ambos os ambientes (Fig 14I, L). No ambiente DAM (-) também mostrou reação positiva nas células espessadas do córtex interno, incluindo a endoderme (Fig 14J), mais intensas do que em indivíduos DAM (+).

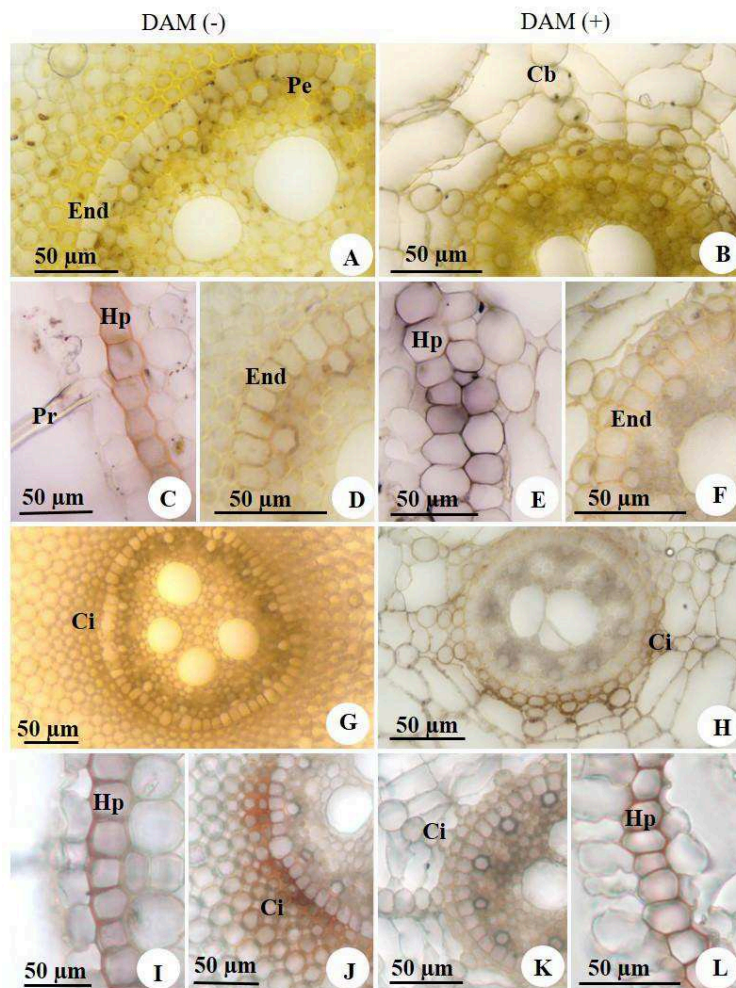


**Figura 12.** Secções transversais da raiz de *Eleocharis elongata* em desenvolvimento. **A.** Vista geral, evidenciando coifa, protoderme, meristema fundamental e início da diferenciação do cilindro vascular. **B.** Endoderme meristemática, formando parte do córtex interno, e formação de xilema e floema. **C.** Diferenciação da protoderme e espaços intercelulares no córtex (seta). **D.** Epiderme com secreção mucilagem (seta) e diferenciação da hipoderme. **E.** Formação de endoderme unisseriada. **F.** Aumento dos espaços intercelulares para formação do aerênquima. Ae - aerênquima; Cf - coifa; Ct - córtex; Cv - cilindro vascular; Edm - endoderme meristemática; End - endoderme; Ep - epiderme; Fl - floema; Hp - hipoderme; Mf - meristema fundamental; Mx - metaxilema; Pd - protoderme; Px - protoxilema; Xi - xilema.



**Figura 13.** Secções transversais da raiz adulta de *E. elongata* em ambiente DAM (-) e DAM (+). **A-B.** Vista geral, demonstrando maior diâmetro no ambiente DAM (-). **C.** Epiderme com células achatadas e pelos radiculares. **D.** Epiderme com células alongadas e sinuosas. **CD.** Organização do córtex externo composto por hipoderme e camadas de células corticais, e córtex interno composto por aerênquima lisígeno tangencial. **E-F.** Observa-se camadas mais internas do córtex interno com paredes espessadas, seguidas de endoderme unisseriada, periciclo interrompido por elementos de protoxilema, e demais elementos vasculares. Ae - aerênquima; Cb - células braciformes; Ce - células colapsadas; Ci - córtex interno; Cv - cilindro vascular; End - endoderme; Ep - epiderme; Fl - floema; Hp - hipoderme; La - lacuna de ar; Mx - metaxilema; Pe - periciclo; Px - protoxilema.





**Figura 14.** Secções transversais de raízes adultas de *E. elongata* submetida à testes histoquímicos em ambiente DAM (-) e DAM (+). **A-B.** Reação com Lugol, evidenciando poucos grãos de amido. **C-F.** Reação com Sudan III. **C, E.** Reação na hipoderme somente no ambiente DAM (-). **D, F.** Reação fraca na endoderme. **G-H.** Reação com Cloreto Férrico, mostrando presença de compostos fenólicos no córtex interno. **I-L.** Reação com Floroglucinol, onde nota-se a reação na exoderme em ambos os ambientes e no córtex interno em DAM (-) (j). Cb - células braciformes; Ci - córtex interno; End - endoderme; Hp - hipoderme; Pe - periciclo; Pr - pelos.

## 5. Discussão

*Eleocharis elongata* apresenta sistema subterrâneo composto por rizoma e raízes adventícias, é áfila, e tem o sistema aéreo composto por escapos. O rizoma é horizontal e simpodial, como observado em outras espécies de Cyperaceae (Rodrigues, 2004), sendo responsável pela eficiência da propagação vegetativa da espécie (Goetghebeur, 1998). O escapo é perene e fotossintetizante, podendo portar ou não a inflorescência, como também ocorre em outras espécies do gênero *Eleocharis* (Walters, 1950; Baksh & Richards, 2006; San Martin, 2014).

O estudo do desenvolvimento dos meristemas apical caulinar e radicular na espécie analisada corrobora os estudos de desenvolvimento do sistema subterrâneo de outras espécies de Cyperaceae (Rodrigues & Estelita 2004, 2007, 2009; Pereira & Rodrigues, 2012), e as análises histoquímicas realizadas no MAC e MAR são inéditas na literatura, juntamente com o trabalho de Royer (2016). Tais análises indicam que em ambos os ambientes analisados as células meristemáticas caulinares têm paredes finas, ausência de grãos de amido, núcleos esféricos e centrais com nucléolo pequeno, o que está de acordo com Verdeil *et al.* (2007) sobre as características das células caulinares pluripotentes.

Entretanto, acrescenta-se ainda que em *E. elongata* as células meristemáticas caulinares apresentam poucos vacúolos visíveis e grãos de amido começam a surgir no meristema fundamental, com exceção dos indivíduos DAM (+). No MAR os testes histoquímicos foram semelhantes entre os ambientes analisados e a presença de grãos de amido foi detectada apenas nas células da coifa, os quais são conhecidos como estatólitos e são responsáveis pelo geotropismo negativo, direcionando o crescimento da raiz (Esau, 1960).

A ocorrência do meristema de espessamento primário (MEP) na região apical caulinar é comum às monocotiledôneas (Rudall, 1991). O MEP é um meristema lateral, responsável pelo espessamento primário do caule, formação de raízes adventícias, além de participar da formação do sistema vascular (Rudall, 1991). De acordo com Rodrigues & Estelita (2009) a intensidade da sua atividade pode variar entre as espécies de Cyperaceae, tendo caules mais espessados atividade mais intensa e caules menos espessados, como estolões e rizomas finos, baixa atividade. O mesmo foi observado na espécie estudada, cujo rizoma é fino e o MEP possui pouca atividade, contribuindo com a produção de células parenquimáticas do córtex interno, com a formação de raízes adventícias e não participando da formação de feixes vasculares.

No córtex interno originado pelo MEP, as células se dispõem de forma radial, com espaços intercelulares esquisógenos, e posteriormente devido à lise de algumas células em sentido radial, os espaços intercelulares vão aumentando, formando assim o aerênquima lisígeno radial. A presença e formação de aerênquima no córtex interno do rizoma em espécies de *Eleocharis* é pouco citada na literatura, Metcalfe (1971) relata, de modo geral, a ocorrência de amplas cavidades de ar na região mediana do córtex.

Em *E. elongata*, assim como outras espécies de Cyperaceae (Rodrigues & Estelita 2004, 2007, 2009; Pereira & Rodrigues, 2012), a atividade do MEP no caule diminui ao mesmo tempo que, a partir desse meristema, se diferenciam a endoderme e o periciclo. Em ambiente DAM (-), os indivíduos de *E. elongata* na maturidade, apresentam espessamento de paredes evidentes nestas camadas, sendo na endoderme espessamento em U, comum em espécies de Cyperaceae (Rodrigues & Estelita, 2002, 2009; Santos *et al.*, 2012).

A presença de meristema intercalar nas gemas reprodutivas corrobora com estudo de outras espécies do gênero *Eleocharis* (San Martin, 2014), onde o meristema intercalar, através do alongamento celular, promove o alongamento da espiguetta. No desenvolvimento do escapo, não se observa a presença do meristema de espessamento primário, sendo assim, nesse órgão não há delimitação entre córtex e cilindro vascular, e os feixes vasculares estão distribuídos por todo o escapo, como já observado por Rodrigues & Estelita (2007). Os feixes vasculares colaterais são encontrados em maior quantidade na periferia do órgão e possuem fibras pericíclicas, assim como encontrado em outras espécies de Cyperaceae (Leite *et al.*, 2009), chama-se atenção que somente nos indivíduos DAM (-) tais fibras tem reação positiva para lignina.

No rizoma e escapo de *E. elongata* são observados cordões de fibras, os quais são normalmente referidos na literatura como fibras subepidérmicas (Eiten, 1969; Prata *et al.*, 2007; Leite *et al.*, 2009; Heizen *et al.*, 2010). Entretanto, no presente estudo se constatou que tais fibras têm origem a partir da protoderme, sendo, portanto, fibras epidérmicas.

Outra característica observada no rizoma e no escapo, em ambos os ambientes analisados, foi a presença de células silicosas na epiderme acima dos cordões de fibras. A presença de corpos silicosos é característica de espécies de Cyperaceae, e também foi encontrada em diversas espécies aquáticas, na forma de cristais cônicos na parede periclinal interna da epiderme, junto às fibras, em folhas e escapos



(Leite *et al.*, 2009). Em estudo realizado com a espécie *Trilepis lhotzkiana* (Arruda, 2005), verificou-se a presença de corpos silicosos nas células epidérmicas das folhas, e estes possuem formato cônico e pontiagudo, chegando a romper a parede periclinal epidérmica da célula que o contém, exatamente como pôde ser observado na epiderme do escapo de *E. elongata*. A presença de corpos silicosos nas plantas fornece maior rigidez e resistência contra fortes ventos, além de atuar na prevenção da herbivoria (Mc Naughton & Tarrants, 1983).

A organização do MAR em *E. elongata* é do tipo fechado, como outras espécies de Cyperaceae (Rodrigues & Estelita, 2004). A formação do córtex interno conta com a participação da endoderme meristemática, que origina as células do córtex de forma radiada, corroborando diversos autores (Melo-de-Pinna & Menezes 2003; Rodrigues, 2004; Pereira & Rodrigues, 2012).

A produção de mucilagem por células epidérmicas alongadas da raiz observada nos dois ambientes, já foi identificada em espécies de ambiente de restinga (Scatena *et al.*, 2005; Pereira & Rodrigues, 2012), e pode proteger as raízes contra a dessecação em solos secos, facilitar a penetração das raízes nos solos, além de aumentar a absorção de nutrientes. A presença de pelos radiculares somente no ambiente DAM (-) pode estar relacionada ao ambiente de restinga o qual a planta se encontra. A presença de pelos radiculares nas raízes foi observada também em espécie de Cyperaceae *Oxycaryum cubense*, ocorrente em ambiente alagado com longos períodos de seca (Leite *et al.*, 2009).

A hipoderme, conforme evidenciada em raízes de *E. elongata*, tem origem no meristema fundamental e é comum em espécies de Cyperaceae (Rodrigues & Estelita, 2002, 2004). De acordo com Seago & Marsh (1989), o número de camadas, espessamentos e composição da hipoderme pode variar e quando a camada mais externa apresenta estrias de Caspary ou espessamento de suberina ou lignina, ela normalmente é chamada de exoderme (Van Fleet, 1950). No presente estudo observa-se a presença de lamela de suberina e lignina na exoderme em ambos ambientes estudados, assim como em *E. laevigulumis* e *E. viridans* (Anjos, 2010).

As principais barreiras apolásticas em raízes são a exoderme e a endoderme, estas limitam o fluxo de poluentes da parte externa das raízes para o cilindro vascular, podendo fazer com que as substâncias se acumulem no córtex radicular (Peterson *et al.*, 1981). No presente estudo, foi observada a lignificação da exoderme, assim como das camadas celulares do córtex interno das raízes, onde o espessamento das paredes celulares pode contribuir com a menor permeabilidade aos

metais, podendo ser uma característica importante tolerância da planta ao ambiente poluído por DAM. Nos estudos realizados avaliando-se os efeitos de contaminação por rejeitos da mineração de zinco em plantas jovens de salgueiro (*Salix humboldtiana* Willd.), foi observada nas raízes o alongamento das células epidérmicas (Gomes *et al.*, 2011), como também foi verificado para *E. elongata* em ambiente DAM (+), podendo estar relacionado com a filtração dos metais.

É comum nas raízes em espécies de *Eleocharis* a organização do cilindro vascular poliarco com os elementos do metaxilema ocupando a região central, assim como observado no presente estudo (Anjos, 2010). Segundo Sandalio *et al.* (2001), a presença de metais pesados pode diminuir o movimento de água na planta, reduzir o número de vasos de xilema e também alterar o balanço de hormônios vegetais, que estão relacionados à morfogênese dos tecidos. Um menor número de elementos condutores, como os elementos do metaxilema, pode representar para a planta menor condutividade hidráulica, e assim permitir que uma menor quantidade de íons metálicos alcancem as áreas fotossintéticas. No presente estudo observou-se que as raízes dos indivíduos DAM (+) apresentaram visualmente menor diâmetro e menor extensão do metaxilema, o que poderia ser melhor investigado em futuros estudos morfométricos.

Comparando-se os escapos adultos dos dois ambientes, foi observado que o parênquima paliçádico é menos desenvolvido em ambiente DAM (+) em comparação com ambiente DAM (-). Tal característica também foi observada por Silva (2015) e Brandalise (2015) ao estudarem as características morfoanatômicas em indivíduos de *E. laeviglumis* submetidos à DAM, podendo ser a presença dos metais a causa da diminuição do tamanho das células fotossintetizantes, como parênquima paliçádico (Sridhar *et al.* 2005) e da presença de espaços intercelulares nesses tecidos (Bini *et al.* 2012). As elevadas concentrações de Fe, como encontradas no ambiente DAM (+), podem também estar relacionadas com a redução dos tecidos na parte aérea da planta, visto que a presença desse metal pode interferir nos níveis de nitrogênio, potássio e cálcio, causando deficiências nutricionais à planta (Santana *et al.*, 2014).

O amido é a maior reserva de carboidratos nos vegetais, sendo consumido pela planta para a conversão em outros carboidratos utilizados no metabolismo (Sandhu *et al.*, 2004; Melo *et al.*, 2007). Santos *et al.* (2012) destacam a presença de parênquima amilífero nas regiões medular e cortical em escapos de espécies de Cyperaceae, porém, em *E. elongata*, somente o ambiente DAM (-) apresentou tal

reserva em seus tecidos, observada desde o MAC. O parênquima com grãos de amido é importante para a planta em ambiente de restinga, pois constitui reserva energética para o crescimento e garante a resistência ao estresse hídrico e salino (Kuster, 2010). A menor quantidade de amido observada em indivíduos DAM (+) tanto no MAC, rizoma adulto e escapo pode estar relacionada aos metais livres na água, os quais competem pelos sítios de ligação de elementos essenciais utilizados para o crescimento da planta, sendo responsável pela redução da absorção desses elementos, consequentemente causando distúrbios nutricionais, os quais podem interferir no desenvolvimento da planta e diminuir a reserva energética em seus tecidos (Arduini *et al.*, 1998). Além disso, a menor quantidade de reserva energética pode estar relacionada ao maior gasto de energia no metabolismo em ambiente DAM (+), para resistir à contaminação pelos metais.

A presença de idioblastos com compostos fenólicos foi observada em regiões jovens e adultas do rizoma e escapo em ambos os ambientes analisados, sendo verificada também para outras espécies de Cyperaceae (Rodrigues & Estelita, 2002; Pereira & Rodrigues, 2012; Santos, 2012). Segundo Sakihama & Yamasaki (2002), sob condições de estresse, compostos fenólicos podem atuar como antioxidantes e, em contraste, também, como moléculas pró-oxidantes, num dualismo de ação, auxiliando na sobrevivência nestes ambientes.

A presença de aerênquima com grandes lacunas de ar foi observada em todos os órgãos em ambos os ambientes, e está relacionada à adaptação e à sobrevivência da planta em ambientes de solos alagados (Nielsen & Orcutt, 1996). Essa característica também é verificada para outras espécies aquáticas de Cyperaceae, como descrito no estudo de Scatena *et al.* (2009). A formação de lacunas de ar nos órgãos vegetais, também está relacionada a baixa aeração da água, o que faz com que haja acumulação de etileno nas células corticais, estimulando a atividade da celulase, o que leva à plasmólise e morte celular, formando as lacunas de ar (Kawase & Whitmoyer 1980; Scatena *et al.* 2002), que atuam então na difusão do oxigênio entre os órgãos da planta (Nielsen & Orcutt, 1996).

Os resultados deste trabalho indicam que *Eleocharis elongata* está adaptada à viver em ambos os ambientes analisados. O escapo foi o órgão que apresentou maiores alterações entre os ambientes, como menor desenvolvimento do parênquima paliçádico e ausência de grãos de amido. A ocorrência, nos indivíduos DAM (-), de tecidos com células de paredes relativamente mais espessadas do que nos indivíduos de ambiente DAM (+), como as células comuns e fibras da epiderme do

rizoma e escapo, endoderme e periciclo do rizoma, fibras dos feixes no escapo, está relacionada à resistência à desidratação e às condições xéricas provocadas pelos ventos e estresse salino (Perazzolo & Pinheiro, 1991; Martins *et al.*, 2008), como estão sujeitos os indivíduos de *E. elongata* em região de restinga.

## 6. Referências

- ALEXANDRE, N. Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina: Degradação dos Recursos Naturais. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, v. 5, p. 35-50, 1999.
- ALEXANDRE, N. Z.; KREBS, A. S. J. Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma-SC. **CPRM 6**. Porto Alegre, RS, 1994.
- ALMEIDA, R.O.P.O. Revegetação de áreas mineradas: Estudo dos procedimentos aplicados em minerações de areia. 2002. **Dissertação** (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. 160 p.
- ANJOS, R. O. Anatomia Comparada de Espécies de *Eleocharis*. In: Salão de Iniciação Científica, 22, 2010, Porto Alegre. **Livro de resumos**. UFRSGS, Porto Alegre, RS, 2010.
- ARDUINI, L.; GODBOLD, D. L.; ONNIS, A.; STEFANI, A. Heavy metals influence mineral nutrition of tree seedlings. **Chemosphere** v. 36, p. 739-744, 1998.
- ARRUDA, R. C. O.; NEVES, L. J. Leaf anatomy of *Trilepis lhotzkiana* Nees and *Trilepis ciliatifolia* T. Koyama (Cyperaceae) Juss. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 889-897, 2005.
- BAKER, N. R. Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. **Journal of Plant Nutrition** v. 3, p. 643-654, 1981.
- BAKSH, S; RICHARDS, A. An architectural model for *Eleocharis*: morphology and development of *Eleocharis cellulosa* (Cyperaceae). **American Journal of Botany**, v. 93, p. 707-715, 2006.
- BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. 1999. Structural and ultrastructural changes in heavy metal exposed plants. In: **Heavy Metal Stress in Plants from molecules to ecosystems**. PRASAD, M.N.V.; HAGEMEYER, J. (eds.). Springer-Verlag, Berlin, p.183--203.

- BINI, C.; WAHSHA, M.; FONTANA, S.; MALECI, L. Effects of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacumofficinale* Web growing on mine soils in NE Italy. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 123, p. 101-108, 2012.
- BRANDALISE, I. A. Aspectos morfoanatômicos de *Eleocharis laeviglumis* (Cyperaceae) ocorrente em ambiente contaminado e não contaminado por Drenagem Ácida de Mina (DAM). 2015. **TCC** (graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015. 36p.
- BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. **Mikrokosmos** v. 6, p. 255, 1972.
- CAMPOS, M. L. Caracterização de três áreas de solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, SC. 2000. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2000. 62p.
- CASTILHOS, Z. C. *et al.* Metodologia para o monitoramento da qualidade das águas da Bacia Carbonífera Sul Catarinense: ferramenta para gestão em poluição ambiental. **Série Gestão e Planejamento Ambiental**, 13. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.
- COAN, A. I.; SCATENA, V. L.; GIULIETTI, A. M. Anatomia de algumas espécies aquáticas de Eriocaulaceae brasileiras. **Acta Botanica Brasilica**, p. 371-384, 2002.
- DANIELS, W. L. 1996. Manipulating the chemical properties of soil and mining wastes. In: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. ALVAREZ V.H. (ed.). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. p. 869-897.
- DE LUCA, F. J.; GASTALDON, M. C. Desenvolvimento sustentável e a recuperação das áreas degradadas abandonadas pela mineração de carvão na região Sul do Estado de Santa Catarina. **Revista Tecnologia e Ambiente** v. 5, p. 19-33, 1999.

- DONCHEVA, S. CopperInduced Alterations in Structure and Proliferation of Maize Root Meristem Cells. **Jounal Plant Physiology** v. 153, p. 482-487, 1997.
- DUSHENKOV, S.; KAPULNIK, Y.; BLAYOCK, M.; SOROCHISKY, B.; RANSKIN, I.; ENSLEY, B. Phytoremediation: a novel approach to an old problem. **Global Environmental Biothecnology** p. 563-572, 1997.
- ESAU, K. Anatomia vegetal. Barcelona: **Ediciones Omega S.A**, 1960.
- ESTELITA, M. E. M.; RODRIGUES, A. C. 2007. Subsídios estruturais à caracterização do sistema caulinar em Cyperaceae. **Revista Brasileira de Botânica** v. 30, p. 401-409, 2007.
- FEDER, N.; O'BRIEN, T. P. Plant microtechnique: some principles and new methods. **American Journal of Botany** v. 55, p. 123-142, 1968.
- FOSTER, A. S. **Practical plant anatomy**. D. Van Nostrand, Princeton, 1949.
- GAHAN, P. B. **Plant histochemistry and cytochemistry: An introduction**. London Academic, 1984
- GOETGHEBEUR, P. 1998. Cyperaceae. In: **The families and genera of vascular plant**. KUBITZKI, K.; HUBER, H.; RUDALL, P.; STEVENS, P.; STUTZEL, T. (eds.). SpringerVerlag, Berlin, v. 4, p. 141-190.
- GOMES, M. P.; MARQUES, T. C. L. L. D.; NOGUEIRA, M. D. O. G.; SILVA, G. H.; CASTRO, E. M. D.; SOARES, Â. M. Efeitos dos rejeitos da indústria de zinco na anatomia e crescimento de plantas jovens de *Salix humboldtiana* Willd:(salgueiro). **Hoehnea** v. 38, p. 135-142, 2011.
- GONZÁLEZ-ELIZONDO, M. S., TENAFLORES, J. A., ALARCÓN-HERRERA, M. A.T., FLORESTAVIZÓN, E., BARAJASACOSTA, N. An arsenictolerant new species of *Eleocharis* (Cyperaceae) from Chihuahua, Mexico. **Brittonia** v. 57, p. 150-154, 2005.

- HEIZEN, F. J.; TIVANO, C. R., J; VEGETTI, A. Anatomía del sistema caulinar subterráneo de *Cyperus corymbosus* Var. *subnodosus* (Cyperaceae). **Gayana Botánica**, v. 67, p. 223-233, 2010.
- JOHANSEN D. A. **Plant microtechnique**. McGrawWill, New York, 1940.
- KAWASE, M.; WHITMOYER, R.E. Aerenchyma development in waterlogged plants. **American Journal of Botany**, v. 67, p. 18-22, 1980.
- KADEJ, F. Interpretation of the pattern of the cell arrangement in the root apical meristema of *Cyperus gracilis* L.var. *alternifolius*. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, v. 32, p. 295-301, 1963.
- KUSTER, V. C. Anatomy and ecological aspects of plants species occurring on Restinga of the Parque Estadual Paulo Cesar Vinha (ES). 2010. **Dissertação** (Mestrado em Botânica estrutural; Ecologia e Sistemática) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- LASAT, M. M. Phytoextraction of Toxic Metals: A review of biological mechanisms. **Journal Environmental Quality**, v. 31, p. 109-120, 2002.
- LEITE, K. R. B.; FRANÇA, F.; SCATENA, V. L. Anatomia de espécies anfíbias de Cyperaceae de lagoas do semi-árido, BA, Brasil. **Acta botânica brasileira**, p. 786-796, 2009.
- LOTTERMOSER, B. G.; ASHLEY P. M. Trace element uptake by *Eleocharis equisetina* spike rush in an abandoned acid mine tailings pond, northeastern Australia: Implications for land and water reclamation in tropical regions. **Environmental Pollution**, v. 159, p. 302-335, 2011.
- MARTINS, S.; MACHADO, S. R.; ALVES, M. Anatomia e ultra-estrutura foliar de *Cyperus maritimus* Poir. (Cyperaceae): estratégias adaptativas ao ambiente de dunas litorâneas. **Acta Botanica Brasilica**, p. 493-503, 2008.



- MCNAUGHTON, S. J.; TARRANTS, J. L. Grass leaf silicification: natural selection for an inducible defense against herbivores. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 80, n. 3, p. 790-791, 1983.
- MENDES, C.; DIAS, E. Ecologia e vegetação das Turfeiras de *Sphagnum* spp. da ilha Terceira (Açores). **Cadernos de Botânica, Herbário Universidade dos Açores**, v. 5, 2001.
- MELO-DE-PINA, G. F. A.; MENEZES, N. L. Meristematic endodermis and secretory structures in adventitious roots of *Richtera* Kuntze (Multisieae-Asteraceae). **Revista brasileira de botânica**, v. 26, p. 1-10, 2003.
- MELO, H. C.; CASTRO, E. M. SOARES, A. M.; MELO, L. A.; ALVEZ, J. D. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Hoehnea**, v. 34, p. 145-153, 2007.
- METCALFE, C.R. Anatomy of the monocotyledons. Cyperaceae. London: **Oxford University Press**, p. 237-250, 1971.
- MONNI, S.; UHLIG, C.; HANSES, E.; MAGEL, E. Ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to heavy metal pollution. **Environmental pollution**, v. 112, p. 121-129, 2000.
- MOURA, J. M. Microrganismos endofíticos associados à planta de ambientes impactados e não impactados pela Drenagem Ácida de Mina de carvão (DAM). 2014. **Dissertação** (Mestrado em Biotecnologia e Biociências) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2014.
- NIELSEN, E.T.; ORCUTT, D.M. Physiology of plants under stress abiotic factors. **John Wiley & Sons**. United States of America, NYC, 1996.
- O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. Polychromatic staining of plant cell walls by Toluidine Blue O. **Protoplasma**, v. 2, p. 367-373, 1964.

- PERAZZOLO, M.; PINHEIRO, F. Aspectos anatômicos e adaptativos das partes vegetativas de *Spartina densiflora* Brong. (Gramineae) da Marisma do estuário da Lagoa dos Patos-RS. **Acta Botanica Brasilica** v. 5, p. 3-16, 1991.
- PEREIRA, R. A.; RODRIGUES, A. C. Morphoanatomy of the underground system of *Androtrichum Trigynum*. **Rodriguésia**, v. 63, p. 305-319, 2012.
- PETERSON, C. A.; EMANUEL, M. E.; HUMPHREYS, G. B. Pathway of movement of apoplastic fluorescent dye tracers through the endodermis at the site of secondary root formation in corn (*Zea mays*) and broad bean (*Vicia faba*). **Canadian Journal of Botany**, v.59, p.618-625, 1981.
- PRATA, A. P.; MENEZES, N.L.; MAZZONI-VIVEIROS, S. C.; WANDERLEY, M. G. L.; THOMAS, W. W. Anatomia do escape e rizoma de espécies brasileiras de *Bulbostylis* Kunth (Cyperaceae). **Revista Brasileira de Botânica**. v. 30, p. 245-256, 2007.
- RAI, P. K. Heavy Metal Phytoremediation from Aquatic Ecosystems with Special Reference to Macrophytes. Critical. Revision. **Environmental Science Technology**, v. 39, p. 697-753, 2009.
- RODRIGUES, A. C. Propagação vegetativa e anatomia do sistema subterrâneo em desenvolvimento de algumas Cyperaceae. 2004. **Tese**. (Doutorado em anatomia vegetal) - Instituto de biociências da Universidade de São Paulo, 2004. 102p.
- RODRIGUES, A. C.; ESTELITA, M. E. M. Primary and secondary desenvolvimento of *Cyperus giganteus* Vahl rhizome (Cyperaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, p. 251-258, 2002.
- RODRIGUES, A. C.; ESTELITA, M. E. M. Anatomia da raiz de *Cyperus giganteus* Vahl (Cyperaceae) em desenvolvimento. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 629-638, 2004.
- RODRIGUES, A. C.; ESTELITA, M. E. M. Morphoanatomy of the stem in some Cyperaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 889-901, 2009.

- ROYER, R. M. Estudo ontogenético de *Eleocharis elongata* e *E. laeviglumis* (Cyperaceae), ocorrentes em ambientes contaminados e não contaminados por Drenagem Ácida de Mina (DAM). 2014. **Dissertação** (mestrado em Biologia de Fungos, Algas e Plantas) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. 79 p.
- RUDALL, P. Lateral meristems and stem thickening growth in monocotyledons. **The Botanical Review**, v. 57, p. 150-163, 1991.
- SAKIHAMA, Y.; YAMASAKI, H. Lipid peroxidation induced by phenolics in conjunction with aluminum ions. **Biologia Plantarum**, v. 45, n. 2, p. 249-254, 2002.
- SALOMONS, W. Enviromental impact of metal derived from mining activities: Processes, predictions, prevention. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 52, p. 5-23, 1995.
- SAMPAIO, H. C. 2002. Processo de Lavra e Beneficiamento de Carvões. In: **Meio Ambiente e Carvão: Impactos de Exploração e Utilização**. TEIXEIRA, C. E. & PIRES, R. J. M. (eds.). Fepam, Porto Alegre, RS.
- SANDALIO, L.M.; DALURZO, H.C.; GÓMEZ, M.; ROMERO-PUERTAS, M.C.; DEL RIO, L.A. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. **Journal of experimental botany**, v. 52, p. 2115-2126, 2001.
- SANDHU, K. S.; SINGH, N.; KAUR, M. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 119-127, 2004.
- SAN MARTIN, Juca Abramo Barrera. Ontogenia floral do gênero *Eleocharis* R. Br.(Cyperaceae). 2014. **Tese** (Doutorado em anatomia vegetal) - Instituto de biociências do Rio Grande do Sul, 2014. 118 p.
- SANTANA, B. V. N.; ARAÚJO, T. O.; ANDRADE, G. C.; FREITAS-SILVA, L.; KUKI, K. N.; PEREIRA, E. G.; AZEVEDO, A. A.; MARSCHNER SILVA, L. C. Leaf morphoanatomy of species tolerant to excess iron and evaluation of their phytoextraction

- potential. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 250-256, 2014.
- SANTOS, P. P. D.; POTIGUARA, R. C. D. V.; LINS, A. L. F. D. A.; MACEDO, E. G. Caracterização morfoanatômica dos caules de *Cyperus articulatus* L. e *C. prolixus* HBK (Cyperaceae). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 7, n. 1, p. 47-55, 2012.
- SCATENA, Vera Lucia; ORIANI, Aline; SANO, Paulo Takeo. Root anatomy of *Actinocephalus* (Koern.) Sano (Eriocaulaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 835-841, 2005.
- SCHEIBE, L. F. 2002. O carvão de Santa Catarina: mineração e consequências ambientais. In: **Meio Ambiente e Carvão: Impactos da exploração e utilização**. TEIXEIRA, E. C. (Coord.). FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM, Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental 2. Porto Alegre, RS.
- SEAGO, J. L.; MARSH, L. C. Adventitious root development in *Typha glauca*, with emphasis on the córtex. **American Journal of Botany**, v. 76, p. 909-923, 1989.
- SILVA, C. R. A. Efeitos da drenagem ácida de mina de carvão (DAM) sobre a morfoanatomia, ultraestrutura e ecofisiologia de *Eleocharis laeviglumis* (Cyperaceae). 2015. **Dissertação** (Mestrado em Anatomia Vegetal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- SILVA, I.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 113-117, 1997.
- SPACIE, A.; MCCARTY, L. S.; RAND, G. M. 1995. Bioaccumulation and bioavailability in multiphase systems. **Fundamentals of Aquatic Toxicology**. Taylor & Francis, Washington, US, p. 493-521.
- SRIDHAR, B.B.M.; DIEHL, S.V.; HANC, F.X.; MONTS, D.L.; SUB, Y. Anatomical changes due to uptake and accumulation of Zn and

- Cd in indian mustard (*Brassica juncea*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 54, p. 131-141, 2005.
- TREVISAN, R.; BOLDRINI I. I. O *Eleocharis* R. Br (Cyperaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociência**, v. 6, p. 767, 2008.
- VAN FLEET, D. S. A comparison of histochemical and anatomical characteristics of the hypodermis with the endodermis in vascular plants. **American Journal of Botany**, v. 37, p. 721-724, 1950.
- VERDEIL, J. L.; ALEMANN, L.; NIEMENAK, N.; TRANBARGER, T. J. Pluripotent versus totipotent plant stem cells: dependence versus autonomy? **Trends Plant Sci**, v. 12(6), p. 245–252, 2007.
- WALTERS, S. M. On the vegetative morphology of *Eleocharis*.R.Br. **New Phytol**, v. 49, p. 1-7, 1950.
- WONG, M. H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. **Chemosphere**, v. 50, p. 775-780, 2003.